



Système collaboratif d'aide à l'ordonnancement et à l'orchestration des tâches de soins à compétences multiples

Sara Ben Othman

► To cite this version:

Sara Ben Othman. Système collaboratif d'aide à l'ordonnancement et à l'orchestration des tâches de soins à compétences multiples. Autre [cs.OH]. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2015. Français. NNT : 2015CLF22651 . tel-01379607

HAL Id: tel-01379607

<https://theses.hal.science/tel-01379607>

Submitted on 11 Oct 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° d'ordre : D. U : 2651
EDSPIC : 734

UNIVERSITE BLAISE PASCAL - CLERMONT II

**ECOLE DOCTORALE
SCIENCES POUR L'INGENIEUR DE CLERMONT-FERRAND**

T h è s e

Présentée par

Sarah BEN OTHMAN

pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

SPECIALITE : INFORMATIQUE

**Système collaboratif d'aide à l'ordonnancement et à l'orchestration des
tâches de soins à compétences multiples**

Soutenue publiquement le 14 décembre 2015 devant le jury :

M. Emmanuel DUFLOS
Mme. Sophie DUPUY-CHESSA
M. Christian TAHON
M. Jean-Marie Renard
M. Alain QUILLIOT
M. Slim HAMMADI

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Directeur de thèse
Co-directeur de thèse

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de thèse Monsieur Alain QUILLIOT, Directeur du LIMOS, Président de la GDR RO et Professeur d'Informatique à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, et mon codirecteur Monsieur Slim HAMMADI, Professeur à l'Ecole Centrale de Lille de m'avoir soutenue, encouragée et encadrée tout au long de cette thèse et des efforts qu'ils ont consentis et les précieux conseils qu'ils ont prodigués.

Mes plus sincères remerciements s'adressent à Madame Sophie DUPUY-CHESSA, Professeur à L'université Pierre-Mendès-France-Grenoble et Monsieur Christian TAHON, Professeur à l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis d'avoir accepté de rapporter cette thèse. Je les remercie énormément pour le temps consacré à cet effet malgré toutes les responsabilités qu'ils ont.

Je remercie les autres membres du jury pour avoir accepté d'être les examinateurs de cette thèse ; j'adresse donc des remerciements tout à fait particuliers au Professeur Emmanuel DUFLOS, Directeur de l'Ecole Centrale de Lille. Je remercie autant Monsieur Jean-Marie RENARD, Praticien Hospitalier et Maître de Conférences à l'Université de Lille 2.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude aux membres du CHRU de Lille, plus particulièrement Messieurs Jean-Marie RENARD et Alain MARTINOT de m'avoir accueillie au sein de cet établissement et de m'avoir fourni des données utiles et des explications précieuses qui m'ont aidée à travailler sur un sujet passionnant.

Enfin, j'exprime toute ma gratitude envers tous ceux qui n'ont pas hésité à m'aider, ainsi que le personnel de l'administration du CRISTAL et du LIMOS pour leur disponibilité et serviabilité.

Dédicace

A la mémoire de mon très cher papa.

***Le destin ne nous a pas laissé le temps pour jouir ce bonheur ensemble,
Tes sacrifices, ton soutien moral et matériel, ton profond attachement m'ont permis de
réussir mes études. Sans ton aide, tes précieux conseils et tes encouragements ce travail
n'aurait vu le jour. Puisse Dieu tout puissant t'accorder sa clémence, sa miséricorde et
t'accueillir dans son saint paradis. Tu resteras à tout jamais dans nos cœurs et nos esprits.***

***A ma douce maman, pour tout son amour, son affection sans limites et sa tendresse,
Je te dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur et de santé.***

A mes très chers frères pour leur amour, leur présence et leur soutien sans faille,

***A tous ceux et celles qui me sont chers, qui ont participé de près ou de loin à
l'aboutissement de ce travail,***

***Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et
de mon incommensurable amour.***

Table des matières

index des Figures	0
index des tableaux.....	1
index des tables.....	2
Introduction Générale	3
CHAPITRE I. Les Systèmes Hospitaliers : Vers Une Logistique Innovante.....	6
I.1 Introduction.....	6
I.2 Le système de santé en France	6
I.2.1 Organisation et gouvernance	8
I.2.2 Le financement.....	8
I.2.3 Réglementation et planification.....	9
I.2.4 Les ressources physiques et humaines	10
I.2.5 La provision de services.....	10
I.2.6 L'évaluation du système de santé.....	11
I.3 Les soins d'urgence	11
I.3.1 Soins pré-hospitaliers	11
I.3.2 Les soins d'urgence à l'hôpital	12
I.3.3 Les récentes réformes dans les Urgences en France	13
I.3.4 Les problématiques liées aux SU.....	13
I.4 Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans le secteur de la santé.....	16
I.4.1 Les technologies pour l'ingénierie des systèmes	17
I.4.2 Les technologies pour l'ingénierie des systèmes	17
I.4.3 Les technologies pour l'ingénierie de l'aide à la décision.....	18
I.5 Les technologies de l'information dans les établissements de santé en France	18
I.5.1 Système de classification des patients.....	18
I.5.2 La facturation électronique.....	18
I.5.3 Dossiers électroniques des patients.....	19
I.5.4 Le manque des systèmes d'information aux Urgences	19
I.6 Logistique en santé : Importance et dimensions	20
I.6.1 Particularité de la logistique en santé.....	21
I.6.2 Difficultés rencontrées	22
I.6.3 Complexité de la prise en charge	23
I.7 Problématique.....	25
I.8 Conclusion	27
CHAPITRE II. Approches et outils de modélisation et d'optimisation des systèmes hospitaliers	28
II.1 Introduction.....	28
II.2 Les outils de modélisation.....	28
II.2.1 Modélisation UML (Unified Modelling Language)	29
II.2.2 Modélisation Workflow.....	29
II.2.3 Les Systèmes Multi-Agents (SMA).....	30
II.3 Théories et concepts d'optimisation.....	33
II.3.1 L'optimisation combinatoire	34

II.3.2	Théorie de complexité.....	34
II.3.3	Complexité des problèmes de décision	35
II.3.4	Optimisation multi-objectif et notion de Pareto-optimalité	36
II.4	Résolution des problèmes d'optimisation	37
II.4.1	Le prétraitement	37
II.4.2	Les approches de résolution	37
II.5	Les Métaheuristiques	38
II.5.1	Procédure de recherche gloutonne aléatoire adaptative (Feo et Resende 1995)	39
II.5.2	Recherche Locale Itérative (RLI) (Glover et Kochenberger 2003).....	39
II.5.3	Recherche à Voisinage Variable (RVV) (Hansen et Mladenovi 2001)	39
II.5.4	Le Recuit Simulé (RS) (Kirkpatrick et al. 1983; Cerný 1985).....	39
II.5.5	La Recherche Tabou (RT) (Glover 1997).....	40
II.5.6	Les Algorithmes Génétiques (AG) (Holland 1975)	40
II.5.7	La méthode de recherche distribuée	41
II.5.8	Les Algorithmes de Colonies de Fourmis (ACF).....	41
II.5.9	Les Algorithmes Mémétiques (AM) (Corne et al. 1999)	41
II.6	Etat de l'art : Outils, modèles et approches d'optimisation en santé	42
II.6.1	Gestion des systèmes hospitaliers	42
II.6.2	Les contraintes liées aux ressources humaines	42
II.6.3	Mesures de performances des Urgences.....	43
II.6.4	Stratégies d'amélioration du fonctionnement du SU	43
II.6.5	Unité de Soins Rapide (USR).....	46
II.6.6	Les méthodes de simulation pour l'amélioration du fonctionnement du SU..	46
II.6.7	Organisations de soins : Outils et modèles	49
II.6.8	Problèmes d'ordonnancement au SU	52
II.7	Positionnement	55
II.8	Conclusion	56
CHAPITRE III.	Workflow collaboratif au service de la modélisation du parcours patient au SUP	58
III.1	Introduction.....	58
III.2	Définition du workflow.....	58
III.3	Pourquoi une approche workflow en santé ?.....	59
III.4	Description d'un schéma type de workflow	60
III.5	Les workflows collaboratifs en santé	61
III.6	Concepts d'Interopérabilité pour les workflows collaboratifs en santé.....	61
III.7	Infrastructures du SUP	65
II.7.1	Etat des lieux	65
II.7.2	Gestion du SUP.....	66
II.7.3	Effectifs.....	66
III.8	Workflow collaboratif pour modéliser le parcours patient en régime permanent .	67
II.8.1	Fonctionnalités générales du SUP	67
II.8.2	Modélisation des processus	68
II.8.3	Processus global	68
II.8.4	Les sous-processus	69
III.9	Modélisation en régime tension	70
III.9.1	Workflow collaboratif du parcours patient en régime tension	71

III.9.2	Choix des transitions et paramétrages	72
III.9.3	Les connecteurs.....	73
III.10	Approches agents pour les workflows collaboratifs	74
III.11	Coalition d'agents pour exécuter des instances du workflow collaboratif	74
III.12	Protocole de négociation entre les agents pilotant une instance de workflow	75
III.13	Cohérence globale et comportement périodique du workflow collaboratif.....	77
III.13.1	Respect de la cohérence globale.....	77
III.13.2	Traitement des états oscillants	77
III.14	Traitement de points de décision du Workflow collaboratif généré.....	78
III.15	Synthèse	79
III.16	Les activités des agents pour le Workflow collaboratif	79
III.17	Conclusion	81
CHAPITRE IV. Architecture à base d'agents pour l'aide à l'ordonnancement et l'orchestration dynamique des tâches		82
IV.1	Introduction.....	82
IV.2	Formulation mathématique du problème d'ordonnancement dans le SUP	82
IV.2.1	Paramètres	84
IV.2.2	Variables.....	85
IV.2.3	Paramètres institutionnels	86
IV.2.4	La fonction objectif.....	86
IV.2.5	Les contraintes	86
IV.2.6	Critères	88
IV.3	Tâches à compétences multiples	89
IV.4	Modélisation à base d'agents	91
IV.4.1	Comportement de l'Agent Accueil	92
IV.4.2	Comportement de l'Agent Identificateur.....	92
IV.4.3	Comportement de l'Agent Traceur	93
IV.4.4	Comportement de l'Agent Ressources	94
IV.4.5	Comportement de l'Agent Intégration et Evaluation	95
IV.4.6	Comportement des Agents Personnel Médical	95
IV.4.7	Comportement de l'Agent Ordonnanceur	96
IV.5	Description du comportement de l'Agent Ordonnanceur	97
IV.5.1	Les différentes phases du comportement de l'AO	98
IV.5.2	Algorithme d'affectation	99
IV.5.3	Algorithme Evolutionnaire	100
IV.6	Approche agrégative dynamique pour l'évaluation de la fonction fitness.....	103
IV.7	Orchestration du Workflow	105
IV.7.1	Définitions et concepts.....	105
IV.7.2	L'orchestration en santé	105
IV.7.3	Architecture de l'orchestration dynamique.....	106
IV.7.4	Evaluation des performances de l'orchestration dynamique.....	107
IV.8	Conclusion	108
CHAPITRE V. Simulations et Résultats		109
V.1	Introduction.....	109
V.2	Analyse des données.....	109
V.2.1	Le triage des patients	111
V.2.2	Nombre de patients aux Urgences.....	112

V.2.3	Temps de passage	112
V.2.4	Statut des consultations	114
V.2.5	Traumatismes	115
V.2.6	Examens complémentaires	116
V.2.7	Classification GEMSA.....	119
V.2.8	Destination des patients	121
V.3	Résultats de l'analyse	122
V.4	Calcul des bornes inférieures pour l'évaluation des critères.....	123
V.4.1	Borne inférieure du critère Cr_1	123
V.4.2	Borne inférieure du critère Cr_2	123
V.4.3	Borne inférieure du critère Cr_3	124
V.4.4	Borne inférieure du critère Cr_4	124
V.5	Implémentation du SysCAOO proposé	124
V.5.1	Choix de la plateforme multi-agent	124
V.5.2	Outils et paramétrage	126
V.5.3	Implémentation des interfaces du SysCAOO	127
V.6	Simulations et résultats de l'ordonnancement: Comportement de l'AO	131
V.7	Test et résultats de l'évaluation agrégative dynamique.....	137
V.8	Scénarios de l'orchestration dynamique	140
V.8.1	Impact de l'orchestration sur le Gantt	140
V.8.2	Impact de l'orchestration dynamique sur le Workflow	142
V.9	Conclusion	144
	Conclusion générale et perspectives	145
	Glossaire	147
	Bibliographie	150
	Annexes	162
	Annexe A	162
	Annexe B.....	165
	Annexe C.....	166

INDEX DES FIGURES

Figure I-1 : Répartition des 736 points d'accueil des Urgences en France en juin 2013 (DREES 2013).....	14
Figure I-2 : Taux de recours aux Urgences selon le motif de recours et l'âge du patient (DREES 2014).....	15
Figure I-3 : Activité, gestion des lits et mise en place de personnel spécifique selon les établissements (DREES, 2013).....	20
Figure II-1 : Agents.....	32
Figure II-2 : SMA.....	32
Figure II-3 : Approche d'optimalité au sens de Pareto	36
Figure II-4 : Allure de la fonction objectif d'un problème d'optimisation difficile	38
Figure III-1 : Phases du management Workflow	59
Figure III-2 : Transfert d'instances de Workflow	62
Figure III-3 : Exécution distribuée du workflow	62
Figure III-4 : Parcours patient.....	64
Figure III-5 : Schéma des possibles orientations d'un patient suite à son diagnostic médical	64
Figure III-6 : Architecture physique du SUP	66
Figure III-7 : Modélisation du processus SUP.....	69
Figure III-8 : Modélisation du processus SUP (sous-processus UHCD)	69
Figure III-9 : Modélisation du processus SUP (sous-processus Soins externes)	70
Figure III-10 : Modélisation du processus SUP (sous-processus Urgences vitales)	70
Figure III-11 : Modélisation du processus SUP en régime tension	72
Figure III-12 : Exemple d'intersections ou nœuds.....	73
Figure III-13 : Protocole de négociation entre les agents	76
Figure III-14 : Activités des agents collaboratifs	80
Figure IV-1 : Architecture MA proposée	91
Figure IV-2: Comportement de l'AA.....	92
Figure IV-3: Comportement de l'Aid	93
Figure IV-4 : Comportement de l'AT	94
Figure IV-5 : Comportement de l'AR	94
Figure IV-6 : Comportement de l'AIE	95
Figure IV-7 : Comportement de l'APM.....	95
Figure IV-8 : Comportement de l'AO.....	96
Figure IV-9 : Les différentes interactions de l'AO avec les autres agents du système	97
Figure IV-10 : Les fonctions d'appartenance pour la fonction objectif	104
Figure IV-11 : Contrôle dynamique flou des directions de recherche	104
Figure IV-12 : Architecture d'Orchestration dynamique	107
Figure V-1 : Extrait de la base de données 2011-2012-2013 du SUP.....	109
Figure V-2 : Nombre Total des patients par mois	110
Figure V-3 : Nombre Total des patients par jour	111
Figure V-4 : Temps de passage moyen (en min) en fonction du niveau de gravité (CCMU) – 2011-2012-2013	113
Figure V-5 : Plateformes Multi-agent.....	124

Figure V-6 : Le « RMA »	127
Figure V-7: Communication des agents dans le système	127
Figure V-8 : Interface d'Authentification	128
Figure V-9 : Main Interface.....	128
Figure V-10 : Interface théâtre (SUP)	129
Figure V-11 : Interface de l'évolution des critères	129
Figure V-12 : Interface de suivi patient	131
Figure V-13 : Gantt	134
Figure V-14 : L'impact du nombre de générations sur les instances	135
Figure V-15 : Analyse du temps de séjour des patients au SUP.....	136
Figure V-16 : Analyse du temps d'attente.....	137
Figure V-17 : GANTT de l'orchestration fixe.....	141
Figure V-18 : GANTT de l'orchestration dynamique	142
Figure V-19 : Temps d'attente moyen sans orchestration.....	143
Figure V-20 : Temps d'attente moyen avec orchestration	143
Figure V-21 : Temps d'attente moyen avec réorchestration	144

INDEX DES TABLEAUX

Tableau V-1 : Délai de prise en charge en fonction du niveau de gravité de la pathologie du patient (CCMU) selon ETG canadienne	111
Tableau V-2 : Nombre de patients selon leur état de gravité.....	112
Tableau V-3 : Temps de passage moyen (en min) en fonction de l'état de gravité des patients	113
Tableau V-4 : Statut de consultation des patients en fonction de leur état de gravité.....	114
Tableau V-5 : Pourcentage de personnes ayant subi un traumatisme, en fonction de leur niveau de gravité	115
Tableau V-6 : Pourcentage de patients ayant eu recours à un examen complémentaire en fonction de leur niveau de gravité	116
Tableau V-7 : Nombre de patients ayant eu recours à un examen complémentaire en fonction du CCMU et de leur statut	117
Tableau V-8 : Pourcentage de patients ayant réalisés un examen complémentaire lorsque leur niveau de gravité a été mentionné en fonction des années (2011,2012 et 2013)	118
Tableau V-9 : GEMSA en fonction de l'état de gravité des patients	119
Tableau V-10 : Destination des patients des Urgences en fonction de leur état de gravité .	121
Tableau V-11 : Tableau patients/pathologies	132
Tableau V-12 : Base de données des opérations par pathologie.....	132
Tableau V-13 : Tableau des compétences.....	132
Tableau V-14 : Tableau de compétences	133
Tableau V-15 : Impact de p_m sur les 4 Instances.....	135
Tableau V-16 : Tableau des tâches de soins.....	140
Tableau V-17 : Tableau des parcours de patients	140

INDEX DES TABLES

Table II-1 : Résumé des travaux de recherches sur l'ordonnancement des patients.....	54
Table IV-1 : Exemple des compétences médicales	89
Table IV-2 : Exemple de table des niveaux d'expérience du personnel	90
Table IV-3 : Exemple de table d'identification des opérations de soins nécessitant des compétences multiples	90
Table IV-4 : Compétences du Personnel Médical	99
Table IV-5 : Génération du schéma d'affectation S^z	100
Table IV-6 : Exemple de Chromosome	100
Table V-1 : Temps d'exécution des opérations de soins :	137
Table V-2 : Dates de début au plutôt et d'arrivée des patients	137
Table V-3 : Calcul de $\gamma_{i,j}$ et $r_{i,j}$	138
Table V-4 : Résultats.....	139

Introduction Générale

Le secteur de la santé a créé plus de 2 millions d'emplois en Europe entre 1997 et 2013. Dans un grand nombre de villes moyennes, les établissements de soins sont les plus importants employeurs directs et contribuent à créer et maintenir un nombre tout aussi important d'emplois indirects (i.e., logistique, textile, biotechnologie, etc.). Critiquées principalement pour leur impuissance à contenir l'augmentation des dépenses de santé dans un contexte d'intensification de la concurrence, les logiques de régulation administrées du système sont progressivement remises en cause et les réformes visent toutes à développer et renforcer la responsabilité et l'autonomie des acteurs du système de santé. Ces réformes s'appuient sur le constat que l'efficacité des activités de production de soins passe aujourd'hui par la modernisation des infrastructures, des organisations, des modes de gouvernance, des modalités d'ordonnancement et de pilotage, la conception et la formalisation de réseaux de production de soins. Cette restructuration pose alors le problème de la répartition des activités sur le territoire (comment s'assurer que l'ensemble des établissements propose une offre complète et cohérente sur un territoire régional ou interrégional?) mais aussi du choix des missions (soins des patients, enseignement, recherche, etc.) et des obligations à remplir (accès de tous à l'hôpital, qualité des soins, continuité de l'accueil, prise en charge de tous les types d'Urgences, etc.). Elle nécessite la reconnaissance des compétences et des responsabilités de chacun, la communication et la collaboration de tous dans le partage des informations, des décisions, des ressources et des actions. Cette restructuration repose sur la mise en place d'un modèle de gestion garantissant la synchronisation de l'ensemble des activités de la trajectoire de soins (piloter les secteurs sanitaires, les réseaux ville & hôpital ou hôpital & soins de suite, etc.). Les regroupements publics et/ou privés ainsi que la configuration des structures de prise en charge des patients associant les différents acteurs médicaux, paramédicaux, de la logistique, hospitaliers et libéraux, définissent le vecteur de restructuration qui permettra d'atteindre les objectifs de qualité des soins et de maîtrise des dépenses de santé. Il s'agit donc de lever plusieurs verrous de nature scientifique, sociologique et humaine. Au niveau scientifique, la conception de méthodes et d'outils d'aide à la décision se propose de résoudre d'une part des problèmes de dimensionnement et de configuration, et d'autre part des problèmes de pilotage prévisionnel et réactif. La difficulté est liée au grand nombre de scénarios à prendre en compte (incertitudes quant à la nature et au volume de l'activité) et surtout au nombre important de critères devant être optimisés (risques patients, qualité des soins, confort du personnel, coûts économiques, etc.).

Pour les problématiques d'ordonnancement et de pilotage, la complexité et l'originalité des problèmes sont beaucoup plus fortes. Elles s'expliquent par la variabilité dans le temps d'une demande en soins prévisible mais non prévue, de parcours de soins aléatoires, de ressources matérielles fixes (principalement les infrastructures) associées à des ressources humaines (personnels médical et soignants) et matérielles nomades. De manière générique, il faut

assurer la coordination dans le temps et dans l'espace d'acteurs mobiles, de moyens matériels fixes et de ressources matérielles nomades.

Au niveau humain, la définition des objectifs stratégiques des acteurs doit concilier les cibles qualitatives et économiques en terme de soins (patients, tutelles, assureurs, etc.) et les intérêts individuels des acteurs (médecins généralistes, infirmiers libéraux, sécurité civile, hôpitaux publics, cliniques privées, etc.).

Au niveau informationnel, un des principaux apports de la qualité des soins est la définition d'un ensemble d'informations métiers commun à la communauté des acteurs : le dossier patient, pivot de la bonne marche d'un réseau de soins et les protocoles de soins.

Les problématiques abordées dans ce mémoire recouvrent principalement des aspects scientifiques et humains. Un système d'aide à la décision s'impose donc et doit mobiliser l'expertise technique et les compétences des différents membres du personnel médical. Ce système d'aide permet, tant pour l'ordonnancement et la conception des architectures et des modèles de pilotage des filières d'urgence que pour leur évaluation, d'adopter des approches collaboratives et informationnelles.

Cette thèse a pour but de contribuer à l'étude et au développement d'un système collaboratif d'aide à l'ordonnancement et l'orchestration des tâches de soins à compétences multiples pour gérer la tension dans les Services d'Urgences Pédiatriques (SUP) afin d'améliorer la qualité de prise en charge des patients. Ce système doit être le moteur logistique du SUP permettant une meilleure efficacité du point de vue soins, gestion des ressources humaines et matérielles, tarification des activités médicales, ordonnancement et orchestration des tâches de soins. Le système doit interagir avec un environnement distribué, incertain et dynamique, permettant de simuler de la manière la plus fidèle possible à la réalité les flux logistiques propagés, les flux patients, les activités du personnel médical ainsi que leurs comportements et déplacements dans les SUP.

Concrètement, ces travaux de recherche sont menés dans le cadre du projet ANR HOST (2012-2015) dont font partie le laboratoire CRISTAL et le laboratoire LIMOS. Ce projet HOST vise à mettre en œuvre un système d'aide à la décision permettant d'éviter au mieux la tension pouvant s'installer dans les SUP. Plus particulièrement, nos travaux de recherche posent la question de savoir comment gérer au mieux la tension dans le SUP qui est le terrain d'étude du projet HOST et également celui de cette thèse. Le SUP se caractérise par un niveau élevé de complexité et dont l'activité ne cesse de croître. En effet, le personnel du SUP rencontre un certain nombre de problèmes dans la gestion des processus des soins qui génèrent souvent des pics d'activité. C'est pourquoi nous devons concevoir et réaliser un système collaboratif d'aide à l'ordonnancement et à l'orchestration des tâches des soins.

Le présent travail est organisé en 5 chapitres comme suit :

1. Le premier chapitre est consacré à l'étude des systèmes hospitaliers et les Services d'Urgences (SU). Dans cette partie, nous décrirons les différentes étapes de la

logistique hospitalière en détaillant les systèmes d'information hospitaliers et les SU hospitalières. Ceci nous amène à montrer la place des SU hospitalières dans le système de santé français. Par la suite, nous présentons les SUP.

2. Le deuxième chapitre présente quelques modèles et outils ainsi que les approches d'optimisation et de simulation. Une grande partie de ce chapitre est consacrée à l'utilisation de ces approches dans le domaine de la santé d'une manière générale.
3. Nous présentons, dans le chapitre III, une étude et un établissement d'un Workflow collaboratif pour modéliser le parcours patient au sein du SUP du Centre Hospitalier Régional Universitaire (CHRU) de Lille. Ensuite nous montrons les différents modèles (Normal et de Tension) et leurs processus respectifs après avoir présenté le terrain d'étude choisi pour ce travail.
4. Dans le chapitre IV, nous proposons une formulation mathématique détaillée des contraintes, des critères et des variables de décisions caractérisant les activités de soins dans le SUP. Ensuite une architecture de résolution basée sur l'alliance entre les Systèmes Multi-Agents (SMA) et les Métaheuristiques sera présentée pour l'optimisation multi-objectif du parcours patient dans les SUP.
5. Le chapitre V est consacré aux résultats des simulations des différents modèles construits tout au long de ce mémoire. Nous commençons par présenter des résultats de simulation des différentes activités du SUP avec un outil de gestion de Workflow collaboratif. Ensuite, nous présentons les résultats obtenus à l'aide de l'approche SMA. Nous exposons les résultats de l'ordonnancement et l'orchestration dynamique des tâches des soins à la fin de ce chapitre.
6. Une conclusion générale et des perspectives ainsi qu'une liste des références bibliographiques et des annexes termineront ce mémoire de thèse.

CHAPITRE I. Les Systèmes Hospitaliers : Vers Une Logistique Innovante

I.1 Introduction

Les établissements de santé représentent un secteur en pleine expansion. Ils sont confrontés depuis quelques dizaines d'années à une mutation imposée par leurs tutelles et leurs usagers. Il est primordial que les services qui y sont offerts soient de bonne qualité pour satisfaire au mieux la demande des patients. En effet, il existe une certaine insatisfaction des patients qui est due, généralement, aux longues durées d'attente ou encore à l'inadéquation entre leurs besoins et les compétences des ressources humaines leur fournissant ces services. Ces établissements ont ainsi un fort besoin de mettre en place une gestion plus efficiente et plus rigoureuse des ressources, dans l'objectif d'améliorer la productivité et l'efficacité de leur système tout en veillant à l'amélioration de la qualité des soins fournis aux patients.

Dans ce chapitre, nous allons présenter d'une manière générale les systèmes de soins en France et analyser de plus près l'un de ces systèmes, qui se trouve au cœur de l'activité médicale. Il joue le rôle de la principale porte d'entrée à l'hôpital: c'est le SU.

Aujourd'hui, le nombre de passages aux Urgences ne cesse d'augmenter chaque année. D'ailleurs, la majorité des Français (54 %) déclare ne pas savoir précisément quoi faire en cas de problème de santé imprévu et c'est en priorité aux SU qu'ils se rendent lorsque cette situation se présente la nuit ou le week-end.

I.2 Le système de santé en France

Le système de santé en France a acquis une notoriété soudaine depuis qu'il a été classé n°1 par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2000 (WHO 2000). Bien que la méthodologie utilisée par cette évaluation ait été critiquée, des indicateurs de satisfaction globale soutiennent l'idée que le système de santé en France, bien que ce ne soit pas le meilleur en fonction de ces critères, est impressionnant et mérite une attention de toute personne intéressée à raviver la réforme de santé aux États-Unis. Les dirigeants du système hospitalier français ont défendu leur système comme étant une synthèse idéale de la solidarité et du libéralisme (terme entendu dans une grande partie de l'Europe pour désigner les systèmes fondés sur l'économie du marché), situé entre le service "nationalisé" de santé de la Grande-Bretagne, où il y a trop de rationnement, et le système «compétitif» des États-Unis, où trop de gens n'ont pas d'assurance maladie. Ce point de vue est cependant atténué par des analystes plus sobres qui prétendent que la centralisation excessive de la prise de décision et de déficits chroniques encourus par l'Assurance Maladie Nationale Française nécessite une réforme importante (Franc, Polton 2006).

Le système de santé en France combine une couverture universelle avec un mélange public-privé de soins hospitaliers et ambulatoires, des niveaux plus hauts de ressources et un volume

de prestation de services plus élevé que dans les Etats-Unis. Il y a un large accès aux services de santé pour une population qui est, en moyenne, plus vieille que celle des États-Unis, et pourtant les dépenses de santé en France en 2000 étaient égales à 9,5 % de son PIB par rapport à 13,0 % du PIB aux États-Unis.

Le système hospitalier Français est un mélange de fournisseurs publics et privés et d'assureurs. L'assurance publique, financée par les employés et les cotisations de l'employeur et des taxes affectées, est obligatoire et couvre presque toute la population, tandis que l'assurance privée est de type complémentaire et volontaire. Les fournisseurs de soins ambulatoires sont en grande partie privés. Les lits des hôpitaux sont majoritairement publics ou privés à but non-lucratif.

La population française bénéficie d'un service de soins de qualité et un haut niveau de choix de fournisseurs. Elle est relativement satisfaite du système de santé. Cependant, comme dans de nombreux autres pays, la hausse des coûts des soins est une préoccupation en ce qui concerne les objectifs du système de santé. De nombreuses mesures ont été ou sont mises en œuvre afin de limiter les coûts et accroître l'efficacité. Elles comprennent, par exemple, le développement de la rémunération à la performance pour les hôpitaux et les fournisseurs indépendants en augmentant la qualité de la pratique professionnelle, le raffinement du parcours patients, l'augmentation des recettes de l'Assurance Maladie Obligatoire (AMO) et l'accroissement du rôle de l'Assurance Maladie Volontaire (AMV). Pendant ce temps, les disparités socio-économiques et l'inégalité géographique de la densité des professionnels de santé demeurent des défis considérables pour fournir une équité dans l'accès aux soins.

Les changements organisationnels au niveau régional sont importants pour tenter d'aborder à la fois l'équité et les défis liés à l'efficacité. Bien que la structure organisationnelle du système est resté très stable jusqu'au milieu des années 1990, dans la décennie suivante, de nombreux changements ont eu lieu et plusieurs nouvelles institutions ont été créées. Parallèlement, la puissance et la participation du Parlement, le Gouvernement, les autorités locales et l'assurance maladie dans le processus d'élaboration des politiques respectives ont évolué. Toutefois, le Ministère des Affaires Sociales, de la Santé et des Droits de Femmes a conservé un contrôle important sur le système de santé, bien que les réformes en cours à la fois aux niveaux régional et national, puissent contester son rôle traditionnel.

L'image globale de l'état de santé en France contient des contradictions apparentes. D'une part, des indicateurs tels que l'espérance de vie, l'espérance de vie sans incapacité et l'espérance de vie en bonne santé montrent que la santé de la population est bonne. En termes de comparaisons internationales, les femmes vivent plus longtemps et les personnes âgées demeurent en meilleure santé en comparaison avec de nombreux pays européens. La France se compare par rapport à d'autres pays aussi bien en ce qui concerne les maladies cardiovasculaires, tandis que sa position relative par rapport à la mortalité causée par l'alcoolisme, la cirrhose et le cancer du col de l'utérus s'améliore. D'autre part, la France souffre d'un taux élevé de décès prématurés masculins causés par les accidents et les

habitudes malsaines (tabagisme et alcoolisme), et les inégalités sociales et géographiques en matière de santé restent importantes. Enfin, la santé reproductive montre relativement de bons indicateurs, et parmi les pays de l'UE-27, la France a le taux de natalité et l'indicateur de fécondité les plus élevés.

I.2.1 Organisation et gouvernance

Le système de santé en France est de type mixte, structurellement fondé sur une approche bismarckienne avec les objectifs de Beveridge (Or Z et al. 2010), l'importance croissante actuelle des revenus tirés de l'impôt pour le financement des soins et une forte intervention de l'Etat. Il y a l'assurance maladie, qui sous différents régimes, couvre actuellement près de 100 % de la population. La prestation des soins est partagée entre, les médecins privés payants pour le service, les hôpitaux privés à but lucratif, les hôpitaux privés à but non lucratif et les hôpitaux publics. En plus du secteur de santé et du secteur social, il y a le secteur de la santé et des services sociaux, connu comme le troisième secteur, qui fournit des soins et des services aux personnes âgées et handicapées.

Les compétences en matière de politique et de régulation du système de santé sont réparties entre l'Etat (Parlement, Gouvernement et l'Administration de la Santé et des Affaires Sociales), l'assurance maladie et, dans une moindre mesure, les communautés locales, en particulier au niveau régional. Cependant, les tendances de réformes dans les deux dernières décennies ont tenté de déléguer une plus grande compétence en matière de gouvernance et de politique de la prise de décision en santé, en particulier dans le domaine de la planification, au niveau régional. Plusieurs établissements régionaux ont été créés pour représenter les principales parties prenantes, telles que les régimes d'assurance maladie, l'Etat, les professionnels de santé et les acteurs de la santé publique au niveau régional. Toutefois, dans le but de parvenir à une meilleure gouvernance du système au niveau régional, une meilleure réactivité aux besoins et une plus grande efficacité, la loi Hôpital, Patients, Santé et Territoires (HPST) a fusionné la plupart de ces institutions en un seul "guichet unique", l'Agence Régionale de la Santé (ARS). Traversant les frontières traditionnelles de santé, la santé publique et les secteurs de la santé et des services sociaux, l'ARS a la responsabilité de veiller à ce que la prestation de soins réponde aux besoins de la population en améliorant l'articulation entre les secteurs ambulatoires et hospitaliers, et les services du secteur de soins et social, tout en respectant les objectifs de dépenses nationales.

I.2.2 Le financement

La responsabilité financière du secteur de santé en France est principalement prise en charge par l'assurance maladie. Toutefois, les fonds sont seulement autour des trois quarts des dépenses de santé, en laissant une marge considérable pour des sources de financement complémentaires tels que l'Assurance Maladie Facultative Privée.

En 2007, les dépenses totales dans le secteur de la santé en France ont été estimées à 208 milliards €, soit 11 % du PIB, dont 79 % est financé par l'Etat. Les dépenses de soins

personnelles représentent 88 % des dépenses totales et représentent une moyenne de € 2895 par personne (Renaud et Sermet 2008).

Comme dans de nombreux autres pays, les dépenses de santé en France ont augmenté plus rapidement que la richesse nationale depuis de nombreuses années, à l'exception de la période 1997-2000. Cette croissance reflète principalement une augmentation du volume des soins consommés. Depuis 1996, les dépenses annuelles de l'assurance maladie ont été couronnées par un plafond national de dépenses (Objectif National des Dépenses Assurance Maladie (ONDAM)) approuvé par le Parlement. Cependant, à quelques exceptions près, chaque année cet éventuel budget a été dépassé.

Depuis 2004, les soins hospitaliers actifs sont payés par la méthode de paiement du Groupe Homogène de Diagnostic (GHD) (tarification à l'activité). Les travailleurs indépendants sont payés sur une base de frais de service. Les tarifs sont négociés dans les accords pluriannuels entre l'assurance maladie et les représentants des professionnels de la santé. Les incitations financières pour améliorer la qualité et l'efficacité de la pratique des médecins ont été récemment mises en œuvre par le biais de contrats individuels aux médecins généralistes pour l'amélioration de la pratique (Fenina et al. 2007).

1.2.3 Réglementation et planification

La planification et la réglementation impliquent des négociations entre les représentants des fournisseurs (hôpitaux et professionnels de la santé), l'État (représenté par deux du ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes, le ministère des finances et des comptes publics) et l'assurance maladie. Le résultat de ces négociations est traduit dans les décrets administratifs et les lois adoptées par le Parlement. Dans le contexte de l'augmentation des dépenses de soins et le déficit croissant de l'assurance maladie, le rôle de l'État dans la planification et la réglementation a augmenté au cours des deux dernières décennies.

Les fournisseurs sont payés par l'assurance maladie (ou directement par les patients qui sont ensuite remboursés). Les tarifs statutaires sont fixés par négociation entre les fournisseurs et l'assurance maladie et sont approuvés par le ministère de la Santé. La qualité des soins est réglementée au niveau national. Les hôpitaux doivent subir un processus de certification tous les quatre ans, mais il n'y a pas de processus de re-certification ou re-licence officielle pour les professionnels de la santé (Mossialos et Thomson, 2004). Toutefois, les médecins, les pharmaciens, les dentistes et les sages-femmes sont tenus à suivre des activités de formation continue à travers le développement professionnel continu. La responsabilité de la planification de la capacité est partagée par le niveau central et régional.

Au niveau régional, l'ARS a été mise en place en Avril 2010 pour coordonner les soins ambulatoires et hospitaliers et les services sociaux pour les personnes âgées et les personnes handicapées à travers un Plan Stratégique Régional de la Santé (PSRS) qui est basé sur les besoins de la population. Chaque processus de planification du secteur doit se conformer au

PRS. Ceci est une première tentative de planification régionale du secteur de soins ambulatoires.

I.2.4 Les ressources physiques et humaines

En France, il y a un haut niveau de services, de l'équipement et d'autres ressources physiques. Cependant, il existe un grand écart dans la répartition géographique. Les hôpitaux sont répartis en quatre catégories principales: les hôpitaux régionaux, les hôpitaux généraux, les hôpitaux locaux et les hôpitaux psychiatriques. Les investissements en capital sont soit couverts par les remboursements pour la délivrance de services ou financés par des programmes spécifiques. Deux plans d'investissement à l'échelle nationale ont été récemment lancés pour atteindre les normes de qualité et de sécurité. Les ARS sont responsables pour le contrôle des investissements et l'achat d'équipement médical majeur.

Suivant la tendance générale dans les pays européens, le nombre de lits pour soins actifs à plein temps pour 1000 habitants n'a cessé de diminuer au cours des 20 dernières années. En 2008, il était de 6,9, ce qui est supérieur à la moyenne de l'UE-15 et l'UE-27. La réduction de la capacité de soins actifs a été accompagnée par la transformation de lits de soins actifs en réadaptation et de soins à longue durée. Environ 7,6 % de la population française exerce des fonctions dans le secteur de la santé. Les infirmières et les aides-infirmières forment la plus grande famille de professionnels. Elles représentant environ la moitié de l'effectif de soins de santé. Les professionnels de santé comprennent également des professionnels de santé (médecins, dentistes et sages-femmes), des pharmaciens, des professionnels impliqués dans la réadaptation (physiothérapeutes, orthophonistes, vision thérapeutes, psychomotriciens, ergothérapeutes et podologues) et les professions techniques paramédicales (spécialistes de l'aide auditive, les opticiens et les radiologues). Les autres professions généralement identifiées contribuant aux soins comprennent le personnel de bureau et le personnel technique travaillant dans les hôpitaux, les techniciens de laboratoire, les auxiliaires de pédiatrie, les diététistes, les psychologues et les ambulanciers. La prévision de la main-d'œuvre et la planification minutieuse de la capacité éducative visent à empêcher les pénuries ou les surplus des professionnels de santé. Cependant, elles ne contrôlent pas la distribution géographique des professionnels de la santé qui, en tant que professionnels indépendants sont libres de choisir leur lieu d'exercice (Sorenson 2009). Afin de résoudre les grandes disparités dans la répartition des professionnels de la santé qui en découlent, il y a eu une augmentation de transferts des tâches de l'assistance médicale vers d'autres professionnels comme les infirmières et le développement d'incitations pour attirer des professionnels de santé dans les régions sous-desservies (ONDPS 2015).

I.2.5 La provision de services

Les deux organismes publics et privés offrent des soins de santé. Les soins primaires sont essentiellement livrés dans le secteur des soins ambulatoires par des professionnels indépendants tandis que les soins secondaires peuvent être livrés à la fois dans le déambulatoire et le milieu hospitalier. À partir de la fin des années 1990, les médecins ont

acquis un rôle majeur dans la coordination des soins avec la mise en œuvre d'un système semi-gatekeeping qui fournit des incitations pour les gens qui doivent visiter leur médecin généraliste avant de consulter un spécialiste (Gagneux et Strohl-Maffesoli 2003). Les médicaments sont distribués par les pharmaciens indépendants, tandis que le prix des médicaments, comme dans la plupart des pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE), est fixé administrativement par l'assurance maladie.

La France est le troisième plus grand marché des médicaments pharmaceutiques au monde. Les soins hospitaliers sont délivrés par des hôpitaux privés à but non lucratif et privés à but lucratif. Les soins à longue durée pour les personnes âgées et handicapées sont fournis à la fois dans les établissements et à domicile. Comme dans de nombreux autres pays européens, la politique de soins mentale en France au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle a été influencée par un mouvement général vers organisme communautaire de services de soins mentale : processus "désinstitutionalisation".

I.2.6 L'évaluation du système de santé

Le système de santé français a longtemps eu la réputation d'être l'un des meilleurs dans le monde. Il est devenu synonyme de la couverture maladie universelle et une offre généreuse de services de santé. Cette réputation vient en grande partie du succès dans l'atteinte de ses objectifs de couverture totale, d'un accès sans listes d'attente et de la satisfaction des patients. L'espérance de vie moyenne en France est de plus de 80 ans et témoigne en partie de la forte combinaison des soins de haut niveau et de bonnes politiques de santé publique. Malgré ces points positifs, il y a aussi des insuffisances, en particulier lorsque l'on considère l'efficacité et les inégalités socio-économiques en matière de santé (Daniel et al. 2006). Les principaux problèmes sont le manque de coordination entre les services hospitaliers et ambulatoires et entre l'offre de soins publique et privée (Chevreul et al. 2010). Les dépenses de santé par habitant sont plus élevées que la moyenne de l'OCDE, classées troisième ou quatrième après les Etats-Unis, l'Allemagne et la Suisse, selon les données utilisées et l'année. Le niveau élevé des dépenses de santé est devenu de plus en plus important à un moment où le système public est confronté à des déficits chroniques, qui sont susceptibles d'augmenter avec le ralentissement économique actuel.

I.3 Les soins d'urgence

La portée de la politique de santé Française pour les soins d'urgence englobe la réglementation des soins pré-hospitaliers d'urgence, l'organisation des SU des hôpitaux, ainsi que la disponibilité des lits d'hôpitaux appropriés pour les patients admis aux SU.

I.3.1 Soins pré-hospitaliers

La capacité du système de santé pour faire face aux soins pré-hospitaliers d'urgence repose sur deux types de mesures: les centres d'appels d'urgence médicale (Services d'Aide Médicale d'Urgence (SAMU)) et la continuité du système de soins (Permanence Des Soins (PDS)).

Les appels d'urgence qui parviennent au centre d'appel médical sont traités par des réceptionnistes d'appels spécialisés qui sont supervisés et soutenus par les médecins. Plusieurs types de mesures peuvent être pris, selon le niveau d'urgence de la situation. Si de premiers secours sont nécessaires sur le site de l'urgence, le SAMU peut envoyer une unité mobile de soins intensifs (Services Mobiles d'Urgence et de Réanimation (SMUR)), une équipe de premiers secours ou d'un médecin de soins primaires. Sinon, le patient peut être conseillé d'aller à l'hôpital d'urgence le plus proche et une ambulance peut lui être envoyée pour le transporter, si c'est nécessaire. Enfin, le patient peut être conseillé de rappeler après quelques heures afin de confirmer les symptômes ou à visiter son médecin généraliste dans les prochains jours.

Les centres d'appels du SAMU traitent les demandes des patients et les dirigent en fonction de la demande à des médecins, des SU de l'hôpital ou un rendez-vous avec un médecin.

Entre 2004 et 2007, le budget de l'assurance maladie dédié à la PDS a augmenté passant de 270 millions € à 350 millions € (soit 4,4 % du total des frais de l'assurance maladie des médecins indépendants), montrant un succès relatif au développement du système (Bonnet et Pavillon 2009). Néanmoins, le système est toujours confronté à des difficultés dans plusieurs régions, principalement par le biais de la réticence des médecins à participer dans les zones sous-desservies. En réponse, la Loi HPST 2009 a élaboré des mesures pour améliorer la PDS, qui fait partie désormais de la responsabilité des ARS.

1.3.2 Les soins d'urgence à l'hôpital

Les unités de soins d'urgence en France sont la pierre angulaire du système de soins d'urgence français. L'activité de soins d'urgence doit être autorisée par l'ARS. Les Urgences accueillent les patients sans sélection tous les jours de l'année, 24h/24 (article R712-65 du Code de la Santé Publique (CSP)) avec quelques exceptions pour les unités d'urgence spécialisées (maternité, pédiatrie, psychiatrie). Les unités d'urgence ont été classées en trois catégories, en fonction de la gravité et la spécificité des cas qui sont pris en charge:

- Les unités générales de soins d'urgence (Services d'Accueil des Urgences (SAU)) ont les ressources nécessaires pour faire face à toutes sortes d'urgence. Le secteur public compte pour presque la totalité de la SAU (97 %). Dans l'ensemble, ces unités reçoivent 55 % de toutes les visites aux Urgences.
- Les unités locales de soins d'urgence (Unité de Proximité, d'Accueil, de Traitement et d'Orientation des Urgences (UPATOU)) disposent de ressources techniques et humaines plus limitées. Elles peuvent recevoir tous les types de situation d'urgence, mais doivent organiser le transfert des cas les plus complexes. Deux tiers de l'UPATOU appartiennent au secteur public. Elles reçoivent 40 % des visites à l'urgence. Cependant, depuis 2006, les SAU et les UPATOU ont le même statut administratif: structure d'urgence.
- Les unités d'urgence spécialisées (POles Spécialisés d'accueil et de traitement des Urgences (POSU)) face à des pathologies ou des types de patients spécifiques. La

moitié d'entre elles sont dans le secteur public et la majorité concerne les Urgences Pédiatriques. En revanche, les SU spécialisés du secteur privé sont fortement spécialisés dans le traitement d'une gamme limitée de pathologies (par exemple, les crises cardiaques et les traumatismes de la main nécessitant une intervention chirurgicale). Les POSU représentent 5 % des visites aux Urgences.

- Les SUP

La reconnaissance des SUP en France s'intègre dans le schéma régional d'orientation sanitaire urgences (arrêté du 30/03/2006) et le schéma régional d'organisation sanitaire enfants et adolescents (arrêté du 20/10/2007). Le besoin de la mise en place de telles organisations repose sur le fait que les enfants ont besoin d'un accueil et d'un traitement spécifiques. Ils doivent être accueillis par un personnel familiarisé dans des locaux disposant d'un matériel adapté aux enfants. Le nombre croissant des enfants se présentant aux Urgences des hôpitaux justifie le recours à la création des SUP.

I.3.3 Les récentes réformes dans les Urgences en France

Les récentes préoccupations concernant le système de soins d'urgence ont mis l'accent sur la difficulté pour les SU de l'hôpital pour faire face à une charge de travail croissante. La surcharge de ces départements a été liée à l'absence d'accès aux soins primaires des services ambulatoires ainsi qu'à un manque de lits d'hôpitaux disponibles pour les admissions à l'urgence (Gayrard 2005). En conséquence, la réforme des soins d'urgence 2004-2008 a consacré un demi-milliard d'euros d'investissements orientés vers le recrutement de personnel médical et paramédical dans les SU, ainsi que la création de lits d'hôpitaux pour les soins gériatriques aigus (une augmentation de 900 lits en 2004), les soins intermédiaires (une augmentation de 915 lits en 2004) et soins hospitaliers à domicile (une augmentation de 300 places en 2004).

Le plan a également favorisé le développement des centres de soins ambulatoires (les Maisons Médicales de Garde (MMG)) afin de garantir la continuité de l'accès aux soins; cette tentative n'a été que partiellement réussie, principalement en raison de difficultés dans le recrutement des médecins dans les équipes de nuit (Grall 2006). Dans l'ensemble, les difficultés rencontrées par le système de soins d'urgence sont liées aux difficultés du secteur des soins primaires, qui sont actuellement exacerbés par les disparités géographiques croissantes de la main-d'œuvre du secteur de santé. La Loi HPST 2009 a tenté de résoudre ce problème: la responsabilité de fournir un accès continu à des services de soins revient maintenant à l'ARS, qui peut se contracter avec les médecins de soins ambulatoires afin de répondre à ces objectifs. En outre, les centres d'appels dédiés aux questions de soins primaires ont été créés dans le but de réduire le fardeau des appels reçus par les centres d'appels du SAMU.

I.3.4 Les problématiques liées aux SU

Une enquête fut réalisée le 11 juin 2013, par la Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques (DRESS), afin d'avoir une vision globale de l'activité des SU en France. Grâce à cette étude, la DRESS a pu recenser la totalité des points d'accueil des

structures des Urgences hospitalières des établissements de santé, générales et pédiatriques qui sont au nombre de 736 (Figure I-1).

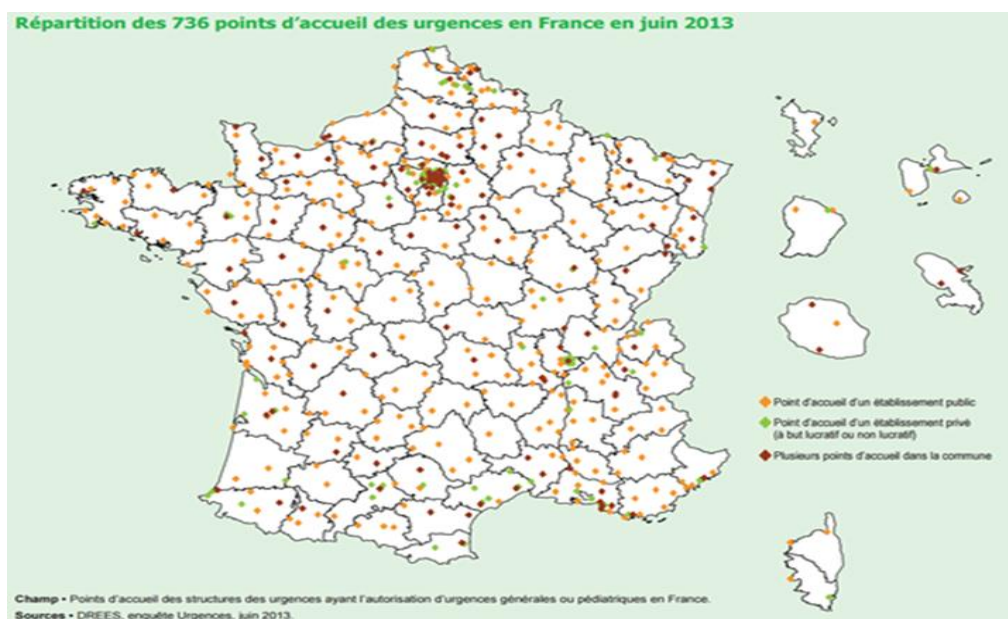


Figure I-1 : Répartition des 736 points d'accueil des Urgences en France en juin 2013 (DREES 2013)

Tout d'abord, il faut savoir qu'un point d'accueil se définit par « l'entrée matérielle des patients et le lieu de prise en charge ». En fonction des structures pouvant accueillir des patients en situation d'urgence, un même établissement peut comporter un voire deux points d'accueil (par exemple un point d'accueil pour les Urgences « enfants » et un point d'accueil pour les patients dit « adultes »).

Sur le terrain, il existe différents points d'accueil permettant d'accueillir et de prendre en charge des enfants en urgence, cela dépend essentiellement de leur niveau d'activité et de l'organisation de l'hôpital. Ainsi, voici les différentes modalités d'accueil pouvant s'effectuer dans différents SU :

- Niveau d'activité faible à moyen : l'entrée des Urgences pour un enfant se fait dans les Urgences générales, avec si besoin l'avis d'un pédiatre).
- Niveau d'activité moyen (avec maternité et pédiatrie) : l'entrée des Urgences pour un enfant se fait près du service de pédiatrie, il y a un point d'accueil spécialisé pour eux qui leur permettra d'être pris en charge de manière plus spécifique.
- Niveau d'activité élevé : l'entrée des enfants devant être pris en charge en urgence, se fait dans un service à part des autres, c'est-à-dire avec un personnel dédié à ce service, qui est le SUP.

Suite à l'étude menée par la DRESS auprès de 52 000 patients français ayant eu recours aux Urgences, un constat en a été ressorti : la prise en charge dans ce service durerait moins de

deux heures pour la moitié des patients. Bien sûr cela comprend, les patients de gravité faible, c'est-à-dire ne nécessitant pas une surveillance de courte durée (Unité d'Hospitalisation de Courte Durée (UHCD)) ou de soins particuliers.

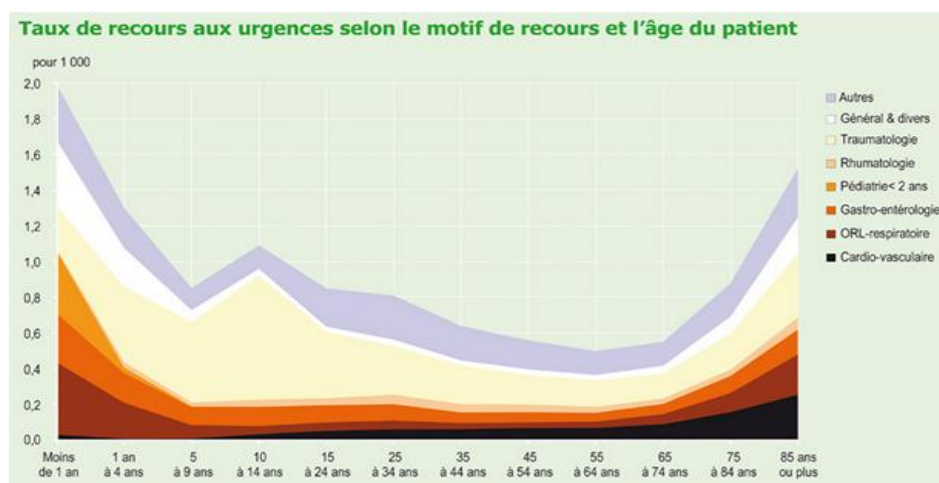


Figure I-2 : Taux de recours aux Urgences selon le motif de recours et l'âge du patient (DREES 2014)

Aujourd'hui, dans 60 % des cas, l'initiative de venir aux Urgences ne provient pas d'un médecin, mais bien du patient lui-même, ou de ses proches. Effectivement, ne sachant vers qui se tourner lors d'un problème de santé imprévu, les patients se tournent plus facilement vers la porte d'entrée des hôpitaux, qui sont les Urgences. Ce qui explique que, dans la majorité des cas, les patients arrivent de leur domicile aux Urgences par leurs propres moyens et que le transport des patients par les pompiers ou les ambulances soit beaucoup plus rare.

Les deux catégories ayant le plus souvent recours au SU sont les enfants et les personnes âgées de 75 ans et plus, car cette population reste la plus vulnérable en terme de santé. D'ailleurs, les traumatismes sont la première cause de venue dans ce service, correspondant à environ 36 % des patients au total et à 70 % des patients de la classe 10-14 ans. Enfin, suite à leur passage aux Urgences, les patients rentrent chez eux dans 75 % des cas et dans 20 % des cas sont hospitalisés. Ceci peut être un problème dans le réel motif de leur venue aux Urgences (Figure I-2).

La surpopulation dans le SU est un problème d'ordre mondial, cela se traduit lorsque la demande en soins est largement supérieure à la capacité en offre de soins, dans un délai raisonnable. La surpopulation aux Urgences a donc non seulement une incidence sur la satisfaction des patients, mais aussi augmente le risque de décès et de réadmissions à l'hôpital pour les patients qui ont été libérés en avance de ce service. Après de multiples études, Guttman et al. (2011) ont remarqué que le risque de décès et de réadmission à l'hôpital était sensiblement en lien avec le degré d'encombrement des Urgences. Ainsi la mort de 150 patients aurait pu être évitée si le temps d'attente aux Urgences, avant la prise en charge, avait été de moins d'une heure.

Face à ces nombreux problèmes rencontrés dans l'organisation hospitalière et l'augmentation des dépenses en Santé, les gestionnaires regardent de plus en plus l'hôpital comme une entreprise à part entière. En effet, gérer les flux et les dépenses hospitalières devient un véritable enjeu pour tout chef de projet car il faut anticiper les besoins du « client ». Il est très difficile de savoir combien de patients arriveront à telle date avec telle pathologie. Voilà pourquoi depuis quelques années, l'objectif est de transposer les concepts et les outils utilisés du domaine entrepreneurial au domaine des services. Le milieu hospitalier intègre donc une nouvelle phase de maturation. Néanmoins, la reproduction à l'identique des solutions développées dans d'autres milieux n'est parfois pas compatible ou pertinente. Le fonctionnement de ces procédés dans le milieu de la santé repose sur le choix de la méthode. Le but est de trouver la meilleure méthode et de la conjuguer aux problèmes spécifiques des hôpitaux actuels.

Pour réussir la gestion des Urgences, il faut des pensées algorithmiques et des décisions et des actions qui doivent être coordonnées pour satisfaire les attentes. Les technologies de l'information peuvent aussi contribuer à la résolution des problèmes récurrents dans le secteur de la santé. Avec la préparation et une bonne planification, les gestionnaires des Urgences sont capables de se tenir au-dessus de la situation et faire face aux défis de manière efficace.

I.4 Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans le secteur de la santé

Les TIC constituent un gisement prépondérant d'innovations et de progrès et l'un des vecteurs incontournable dans la mise en œuvre d'une politique d'ingénierie de la santé. Elles sont les supports de la mise en œuvre de systèmes indispensables à la qualité des services apportés aux patients. L'utilisation des TIC concerne ainsi :

- **Les systèmes d'informations hospitaliers**

Ces systèmes, complexes et nécessairement évolutifs, doivent s'appuyer sur les technologies interopérables (Internet, Wifi, Web-Services, PDA, etc.) et être conçus pour constituer de réels outils interactifs et coopératifs facilitant les tâches des différents personnels hospitaliers (médical, paramédical, administratif, technique, etc.). Ils doivent autoriser un accès et une diffusion optimisée des informations nécessaires à leurs activités. Ils concernent de multiples domaines de l'hôpital : informations relatives aux patients (antécédents médicaux du patient, résultats des examens diagnostiques et biologiques, etc.), aux pratiques (protocoles médicaux, infirmiers, d'hygiène, de surveillance éléments de pharmacovigilance et de toxicologie, etc.) et aux moyens disponibles (lits ou plages de rendez-vous disponibles, salles de bloc ou d'accouchement, des médicaments et produits stockés ou disponibles, etc.). Leur conception et leur mise en œuvre nécessitent une collaboration forte avec les professionnels et les industriels.

- **Les systèmes de pilotage distribués pour la gestion de réseaux de soins**

Structurés autour des technologies comme les workflows adaptatifs, les plateformes d'intermédiation, les interfaces nomades ,etc. , ces systèmes sont destinés à permettre la mise en œuvre de systèmes coopératifs de télésurveillance et de télésanté, de la gestion prévisionnelle, le pilotage en temps réel et le suivi des interventions auprès des patients et l'évaluation des activités de l'organisation de soins en charge du réseau de soins.

- **Les portails thématiques**

Ils constituent des sources d'informations privilégiées où les experts médicaux, les responsables politiques et les acteurs du système de soins et de santé puiseront les informations nécessaires à l'analyse et à l'évaluation des activités de soins et de santé.

- **Les bases de données et de connaissances thématiques**

Ces bases de données peuvent être exploitées à l'aide de systèmes d'extraction intelligents associés. Ces systèmes s'appuient sur les technologies d'entrepôts de données (datawarehouses), de fouilles de données (datamining) et d'analyse de données hétérogènes (technologies OLAP).

- **Les systèmes d'identification des personnes et des produits**

Ils doivent contribuer à l'amélioration de la réactivité et de l'efficacité des opérations et interventions en s'appuyant notamment sur les technologies de l'informatique ubiquitaire, de la communication sans contact (RFID, RFID2, etc.) et de géolocalisation (systèmes d'information géographiques, etc.). Ces systèmes sont par exemple destinés à assurer la traçabilité globale des produits sanguins, le positionnement des équipes d'intervention d'une chaîne de survie intra hospitalière.

I.4.1 Les technologies pour l'ingénierie des systèmes

L'analyse de données textuelles, même si certaines applications existent telles que les moteurs de recherche spécifiques National Library of Medicine (NLM), est insuffisamment développée. Elle nécessite la mise en œuvre de systèmes permettant notamment le codage et la traçabilité contextuelle des courriers médicaux, et l'exploitation du Dossier Médical Personnalisé (DMP) informatisé qui nécessite une refonte complète de ses spécifications (MIM 2007), (Gagneux 2008) pour pallier à la situation actuelle où les dossiers informatisés sont insuffisamment exploités et constituent de véritables cimetières de données (Beuscart 2009).

I.4.2 Les technologies pour l'ingénierie des systèmes

Il s'agit d'adapter, d'améliorer les différentes technologies de l'ingénierie des systèmes destinées à la conception ou la reconfiguration des systèmes, l'analyse des systèmes (simulation, analyse des risques et des défaillances, etc.) et la commande des systèmes (management de la chaîne logistique hospitalière, planification, ordonnancement, gestion du personnel, etc.).

I.4.3 Les technologies pour l'ingénierie de l'aide à la décision

L'aide à la décision est un support indispensable dans la plupart des activités réalisées au sein des systèmes de soins et de santé. Citons pour exemple : la complexité dans l'établissement d'un diagnostic pour certaines pathologies, la complexité de la planification et de la gestion des plateaux médicotéchniques et l'organisation des services logistiques. Il est donc indispensable de concevoir et de mettre en œuvre des systèmes d'aide à la décision, exploitant et combinant des informations diverses (imagerie, radiographie, analyses médicales, etc.) afin de fournir aux professionnels de soins et de santé des données et des indicateurs pertinents facilitant l'élaboration et la validation de leur décision.

La conception des Systèmes Interactifs d'Aide la Décision (SIAD) devra naturellement prendre en compte les spécificités du domaine et exploitera les technologies informatiques avancées (solveurs, générateurs de tableaux de bord, interfaces homme-machine adaptatives, etc.) constituant des SIAD adaptés et réellement opérationnels.

I.5 Les technologies de l'information dans les établissements de santé en France

Depuis la fin des années 1980, le secteur de santé en France a connu une évolution lente mais continue de son infrastructure de technologie de l'information. Récemment, le développement des systèmes de technologie de l'information est devenu une priorité de l'agenda politique, principalement parce qu'il est considéré comme un moyen d'améliorer l'efficacité du secteur.

En France, le développement de l'Internet a été plutôt lent par rapport à d'autres pays européens, mais s'est amélioré au cours des dernières années. En Juin 2007, 55 % des personnes de 12 ans ou plus avaient accès à Internet à la maison, avec une augmentation de 10 % sur les 12 mois. En outre, l'Internet a souvent été utilisé à des fins liées à la santé. En effet, dans la même étude, 74 % des personnes de 12 ans ou plus ont déclaré avoir cherché de l'information de santé pour eux-mêmes ou un de leurs parents sur Internet (Bigot et Croutte 2007).

I.5.1 Système de classification des patients

Dans le système de santé, le projet majeur de technologies de l'information au cours des 15 dernières années a été le développement d'un système d'information pour la gestion de l'activité de l'hôpital, Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI), qui est le squelette du système de paiement prospectif, en usage depuis 2004. Au niveau national, le projet a été supervisé par l'Agence d'Information sur les Soins de l'Hôpital (AISH).

I.5.2 La facturation électronique

Simultanément, un système de facturation électronique a été progressivement développé et mis en œuvre dans le secteur des soins ambulatoires depuis le milieu des années 1990. Une carte électronique d'assurance santé individuelle (Sesam-Vitale carte) a été fournie à tous les

individus inscrits dans l'un des trois principaux fonds d'assurance santé. Le système de facturation repose sur une carte d'identification électronique pour les professionnels des soins (Carte de Professionnel de Santé (CPS)). La CPS a été déployée aux professionnels du secteur des soins ambulatoires (principalement des médecins et pharmaciens), en liaison avec le développement du système de facturation électronique. En 2009, 84 % de la facturation dans le secteur des soins ambulatoires ont été transmises électroniquement.

I.5.3 Dossiers électroniques des patients

Les dossiers électroniques des patients ont été introduits dans la loi française par la loi de réforme d'assurance maladie de 2004. Le but était de créer un Dossier Electronique du Patient (DEP) pour regrouper des informations médicales recueillies en milieu ambulatoire et à l'hôpital. La décision d'utiliser le DEP est faite par les patients sur une base volontaire, mais il y a des incitations financières pour le promouvoir. Le déploiement national du système a été initialement prévu pour la mi-2007, mais ce calendrier semble être irréaliste, compte tenu de la complexité technique du projet et la sensibilité de la question pour les patients et les associations professionnelles. Il a été exigé, par exemple, que les patients soient autorisés à cacher des parties de leur dossier de certains professionnels de la santé, de manière à ce que le professionnel ne soit pas au courant, mais les associations professionnelles ont fait valoir que de telles limitations peuvent les empêcher de fournir des traitements précis.

En Avril 2008, la «mission de relancer le dossier médical électronique" (Gagneux et al. 2008) a présenté ses recommandations au ministère de la Santé. Le message général du rapport était de produire le DEP qui était la priorité absolue. Le rapport a annoncé six principes pour atteindre cet objectif, ce qui dans certains cas différait du projet précédent. Il a été recommandé que le DEP doive (1) être utile pour les professionnels (initialement le projet était axé sur l'utilité du DEP pour les patients, ce qui explique en partie le manque initial d'intérêt pour les professionnels. Par exemple, le patient peut choisir le site où le dossier serait maintenu, ce qui a maintenant été retiré); (2 et 3) être modulaire et progressif, en fonction des besoins émergents; (4) être déployé dans le temps; (5) respecter les exigences de l'équilibre et de la protection de la vie privée des patients; et (6) être soumis à effacer la gouvernance, qui n'avait pas été le cas et peut à nouveau expliquer les difficultés rencontrées.

I.5.4 Le manque des systèmes d'information aux Urgences

Un établissement crée de la valeur en traitant des informations, en particulier dans les établissements de service. Dans les établissements de santé, les informations transmises sont l'identité du patient et sa pathologie, et les services sont les soins. On peut donc dire que la transmission des informations est très importante afin de ne pas se tromper de patients lors de la prise en charge et leur procurer les bons soins pour que les soignants partageant les mêmes informations soient plus réactifs. Un système d'information représente donc «l'ensemble des éléments participant à la gestion, au traitement, au transport et à la diffusion de l'information au sein de l'organisation». Or, hormis les établissements privés à but lucratif, les hôpitaux ne possèdent pas des tableaux de bord des lits disponibles dans

l'établissement, et même s'ils en possèdent un, il n'y a pas de personnel dédié à l'inventaire de ces lits ou à l'affectation des lits pour les patients.

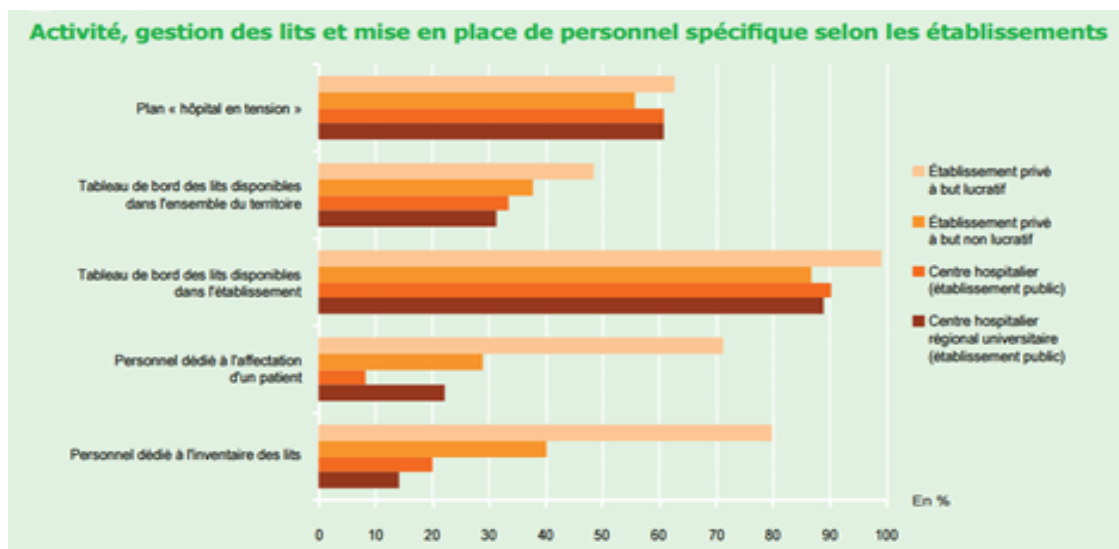


Figure I-3 : Activité, gestion des lits et mise en place de personnel spécifique selon les établissements (DREES, 2013)

Ceci peut donc être très handicapant lorsqu'un patient nécessite une hospitalisation. De même, on se rencontre qu'il existe très peu de tableaux de bord des lits disponibles dans l'ensemble du territoire, et donc très peu d'échanges inter-hospitaliers. Lors d'une zone d'engorgement, le SU se trouve parfois incapable d'hospitaliser tous les patients, car ces tensions sont parfois imprévisibles. Les patients sont donc transportés dans d'autres hôpitaux possédant des lits disponibles. Il est donc indispensable que ces tableaux de bord existent sur le territoire, car on se rend compte que les périodes de tension sont fréquentes sur l'année. Enfin, le plan « hôpital en tension » est un dispositif qui a été créé afin que les établissements de Santé (surtout ceux comprenant des Urgences) puissent réagir en temps de crises ou de catastrophes naturelles. Malheureusement, il y a seulement 60 % des hôpitaux sont prêts à appliquer ce plan.

I.6 Logistique en santé : Importance et dimensions

La logistique est reconnue dans de nombreuses activités comme le transport, la distribution, l'approvisionnement, l'industrie, etc. Mais ce n'est que très récemment, que la logistique est apparue dans le domaine de la Santé. En effet, ce n'est que lorsque les hôpitaux ont subi des bouleversements économiques, suite à des réformes touchant le management hospitalier français (décentralisation des hôpitaux en pôles et tarification à l'activité - 2007), que ceux-ci ont réfléchi à adopter une nouvelle organisation afin d'être plus efficaces. De plus, aujourd'hui, selon le ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes, les dépenses effectuées par les hôpitaux sont estimées à 18 milliard d'euros sur l'année. Ces dépenses sont extrêmement diverses : médicaments, matériels biomédicaux, équipements de

soins, etc. et importantes. D'ailleurs, 46 % de cette somme représente le poids des dépenses des activités logistiques et de gestion des flux. Ainsi, vu ce pourcentage, quelles que soient les hypothèses retenues ou les études recensées, les coûts logistiques hospitaliers et les coûts de gestion de flux restent significatifs et nous permettent d'affirmer qu'ils dépassent les frontières d'un seul service.

Notre étude va donc s'intéresser à cette partie, qui est loin d'être traitée. Afin de mieux comprendre les flux et les activités au sein d'un établissement de santé, nous avons utilisé l'étude de (Swinehart et al. 1995), qui énumère les cinq activités suivantes :

- Les activités de logistique interne qui regroupent l'acquisition, la réception et la distribution des différentes fournitures utilisées comme soutien de la prestation de services et associées aux extrants intermédiaires et finaux.
- La gestion de la demande qui consiste à prévoir, à planifier et à orchestrer l'utilisation des différentes ressources nécessaires pour répondre aux besoins.
- Les opérations et les services qui regroupent l'ensemble des activités soutenant le passage du patient dans le centre hospitalier de son admission jusqu'à sa sortie.
- La logistique externe qui est associée aux activités du suivi médical du patient.
- Les services aux patients qui représentent les activités auxiliaires et non essentielles fournies par l'hôpital.

Face à de nombreux problèmes rencontrés dans l'organisation hospitalière et une augmentation des dépenses en Santé, les gestionnaires regardent de plus en plus l'hôpital comme une entreprise à part entière. En effet, gérer les flux et les dépenses hospitalières devient un véritable enjeu pour tout chef de projet car il faut anticiper les besoins du « client » surtout qu'il est difficile d'anticiper les demandes de soins. Voilà pourquoi depuis quelques années, l'objectif est de transposer les concepts et les outils utilisés du domaine entrepreneurial au domaine des services. Le milieu hospitalier intègre donc une nouvelle phase de maturation.

I.6.1 Particularité de la logistique en santé

La logistique des établissements de soins se base sur la gestion des flux. Selon la CoLogH (Commission Logistique Hospitalière de l'aslog & GS1 1999), la logistique hospitalière recouvre la gestion des flux de : patients, produits, matières, des informations qui s'y rapportent pour assurer la qualité et la sécurité à un niveau défini de performance et d'efficacité, depuis le fournisseur jusqu'au patient et selon le cas au destinataire final.

Le premier flux d'un établissement de santé est celui des patients. En amont des projets de construction d'établissement, il est nécessaire de prendre en compte les caractéristiques des différentes orientations des flux patients. D'autre part, il est nécessaire de différencier les flux directement liés à l'activité de soins (flux des dossiers médicaux, prélèvements d'analyse, produits sanguins labiles, médicaments, dispositifs médicaux, etc.) de ceux découlant de l'activité hôtelière (blanchisserie, cuisine, etc.). La traçabilité est un des fils conducteurs d'une organisation globale des flux.

Les hôpitaux varient considérablement dans leur vocation, la situation géographique, la disposition physique, l'histoire, la culture, etc., et cela influence de manière significative la façon dont la logistique de la santé et les meilleures pratiques peuvent être appliquées, ce qui empêche la mise en œuvre de solutions génériques. Pour atteindre les objectifs des gestionnaires du secteur de la santé, une bonne compréhension des processus et des activités en place est nécessaire avant de choisir, adapter et mettre en œuvre les meilleures pratiques. Quand ces pratiques sont mises en œuvre, les processus doivent être modifiés et ajustés en fonction des nouvelles exigences.

D'un point de vue stratégique, la logistique devrait agir comme un support interne pour les activités cliniques, plutôt que de remplir un rôle plus traditionnel neutre. La logistique devient alors non seulement une source d'économie, mais rend également les professionnels cliniques plus productifs.

I.6.2 Difficultés rencontrées

I.6.2.1 Délais d'attente aux Urgences

Un des problèmes quotidien aux Urgences concerne le délai d'attente. En réalité, les motifs de consultation sont loin de mettre en jeu le pronostic vital. En effet, suite à une entrée aux Urgences, trois types de décisions sont possibles:

- Retour à domicile avec ou sans traitement,
- Hospitalisation dans l'un des services spécialisés,
- Transfert dans une autre structure hospitalière.

Le but c'est d'éviter les hospitalisations inutiles. Une étude effectuée aux Etats Unis a estimé que grâce aux UHCD, quatre à huit millions d'hospitalisations inadaptées sont évitées par an (soit une économie de 6 à 12 milliards de dollars). En France, cinq cent mille à un million d'hospitalisations conventionnelles seraient ainsi évitées (Gerbeaux et al. 2001). Ces unités permettent le séjour des patients pour traitement et surveillance en attendant les examens complémentaires et déchargent ainsi les Urgences.

Les facteurs de variation du délai de séjour sont:

- Les examens complémentaires : Les examens biochimiques, la pratique d'imagerie et les avis de spécialistes constituent l'étape la plus importante.
- L'âge : La durée moyenne de séjour augmente avec l'âge (Bougmissa et al. 2011). En effet, la prise en charge des Personnes Agées (PA) est complexe du fait d'un manque important de données scientifiques (médicales, sociales) (Bouget et Coll 2003) relatives au flux du dossier patient. Lorsque certains parlent de filière courte, pédiatrique, d'autres évoque une filière gériatrique. Les PA arrivent parfois seules sans ordonnance, sans papiers, sans aucune personne à contacter. Certains établissements de santé (le Centre Hospitalier d'Arras par exemple) mettent en place une équipe mobile de gériatrie qui effectue dès le passage d'une PA, une fiche de liaison et se

charge de rassembler de multiples données médicales, sociales ou concernant son autonomie.

- L'heure d'arrivée : Nombre de consultants réduit à certaines heures, manque de lits dans les unités spécialisées (sorties souvent effectuées l'après-midi).
- La disponibilité des lits hospitaliers : Souvent mise en avant pour expliquer l'engorgement chronique des Urgences. Elle montre une réalité plus nuancée qui résulte souvent d'un cloisonnement et manque de concertation des services.

I.6.2.2 Parcours des patients en consultations externes

Les délais d'attentes sont aussi très variables selon la charge de travail des praticiens hospitaliers et peuvent dépendre également du parcours:

- Plateforme non structurée (changement de situation selon les examens demandés, déplacements, etc.).
- Parcours mal défini (orientation aléatoire).

I.6.2.3 Flux du dossier patient

- Difficultés liées à l'identité-vigilance : Les erreurs de dossier patient (dossier multiples pour une même personne, homonyme) sont source d'erreurs plus ou moins graves mais induisent également un délai de prise en charge de celui-ci. Les erreurs évitables liées à l'identité du patient représentent 10 % des événements indésirables liés aux activités de soins. Si la prise de conscience de la nécessité de maîtriser ces risques est effective dans les établissements de santé, il reste à mettre au point et évaluer les organisations, les procédures et les moyens techniques permettant de sécuriser la prise en charge du patient¹.
- Difficultés liées au manque d'informatisation : les liens entre les cabinets médicaux et les SU sont souvent inexistantes. Le lien entre les spécialistes d'un même établissement est encore difficile même s'il est actuellement en cours d'élaboration (Informatisation du dossier patient).
- Difficultés liées au délai/mauvais archivage du dossier patient : Le dossier du patient met un certain temps avant d'être retourné aux archives (peut-être dû au fait que le praticien ne rédige pas tout de suite le courrier de sortie, manque de temps des secrétaires médicales, mauvais archivage, etc.).

I.6.3 Complexité de la prise en charge

La prise en charge des patients s'effectue suivant différents modes liés aux types de soins nécessaires (DMES 1998) : soins programmés, nécessitant une hospitalisation ou non (ambulatoire), soins non programmés, en situation d'urgence ou non.

¹ www.identito-vigilance.org

L'une des problématiques majeures à laquelle sont confrontés les établissements hospitaliers de manière chronique, pour laquelle aucune réponse satisfaisante n'existe à l'heure actuelle, résulte des interférences permanentes entre l'activité programmée et l'activité non programmée, et plus particulièrement l'activité non programmée urgente, communément désignée sous le vocable d'urgence.

Le terme d'urgence, recouvre deux phénomènes distincts :

- des flux récurrents, pouvant présenter des variations saisonnières, mais connus en moyenne sur des horizons moyens (i.e., mois ou année). Même, si ces flux sont appréhendés, quantifiés en volume et en nature à moyen terme, à court terme, la mise en place d'une structure, d'une organisation et d'un pilotage à court terme est un enjeu, majeur d'efficience du système de production de soins.
- des flux consécutifs à des crises sanitaires (grippes, canicules, vagues de froid). Dans ce cas, les flux sont complètement imprévus en volume et en nature.

On constate que, s'il est envisageable d'adapter et de mettre en œuvre les méthodes classiques d'organisation, de planification, de gestion et d'optimisation, pour la prise en charge des flux de patients programmés, il est beaucoup plus complexe de maîtriser les prises en charge des flux d'urgence (Chodosas 2002).

Le problème n'est pas simple dans un contexte où aujourd'hui les Urgences sont considérées par les acteurs du système de santé eux-mêmes comme le principal générateur d'entropie du système de soins. Comme le signale le Dr. Braun Secrétaire Général du SAMU de France : "La qualité des soins n'est pas qu'une question d'argent, il faut avant tout structurer l'activité et casser la barrière entre l'hôpital public et le secteur libéral". Le Dr. Abdel Bellou, Président de la Commission Evaluation de la Société Francophone d'Urgences Médicales, ajoute : "Il faut savoir qui sont les patients qui arrivent aux Urgences et comment ils sont pris en charge".

Des solutions doivent donc être développées non seulement au niveau français mais également vis à vis de l'Europe entière où existent les mêmes problématiques (Reix 2002). Ainsi, l'ensemble des services européens d'aide médicale urgente se réunissent régulièrement à Paris pour échanger leurs problématiques et les modalités d'amélioration de leur activité. Plus de 350 participants de 30 pays d'Europe ont participé à cette réflexion ce qui montre que l'aide médicale urgente est un sujet vital et extrêmement sensible.

La complexité des problèmes posés est illustrée par la diversité (Figueras et al. 2002) des solutions proposées (centres d'appels spécialisés, unités d'Urgences dédiées, équipes d'urgence mobiles, etc.) sans que les résultats obtenus soient satisfaisants. Le Royaume-Uni, pour faire face à ces difficultés, a mis en place des protocoles de prise en charge de l'urgence, qui permettent d'afficher des délais de prise en charge inférieurs à 4 heures dans un système jusque-là fortement critiqué pour la longueur de ses temps d'attentes (Espinoza 2005). Ces protocoles s'accompagnent d'une reconfiguration des activités, d'une redistribution des tâches entre catégories professionnelles et du développement d'outils de communication et

d'échange. Par ailleurs, les analyses du système de services de santé au Québec et de la transformation du réseau montréalais (GQ 2000) montrent que l'organisation des services n'a pas été en mesure de s'adapter adéquatement aux transformations rapides et aux contraintes budgétaires imposées aux réseaux de prise en charge (Centre de Coordination Nationales des Urgences (CCNU) (2002), Guide de gestion des Urgences). Ainsi, le Québec, comme la France², a notamment créé un guide de gestion et d'organisation des Urgences afin de mettre à plat les processus et d'en standardiser les étapes clefs : triage, temps d'observation du patient, demande de consultation, modalité d'intégration des personnels aux processus, gestion de l'utilisation des lits, liaison avec les équipes, etc.

I.7 Problématique

Les patients veulent les meilleurs soins au meilleur coût. Pour répondre à cette demande, une logistique dans les établissements de santé est nécessaire pour permettre d'améliorer de manière efficiente l'organisation, en réduisant les coûts et en répondant aux besoins de tous les acteurs impliqués. En effet, la logistique est le processus et l'activité de planification, d'organisation, de motivation et de contrôle des ressources, des procédures et des protocoles pour atteindre des objectifs spécifiques afin de résoudre des problèmes journaliers en santé.

Aujourd'hui, le secteur de la santé fournit non seulement des soins techniques mais aussi soins de confort et de bien-être. Bien que les établissements de soins rencontrent actuellement de nombreuses difficultés, les logisticiens ne sont pas si nombreux dans ce milieu. Ceci est principalement dû au fait que les logisticiens sont confrontés à un examen beaucoup plus minutieux de leurs travaux par rapport à ceux travaillant dans l'industrie. Effectivement, quoiqu'ils fassent, ils sont surveillés par les organismes gouvernementaux, les compagnies d'assurance, les organisations professionnelles et bien évidemment par les patients eux-mêmes.

Dans la gestion des systèmes de production de soins, la maîtrise des flux hospitaliers et l'anticipation des tensions sont des enjeux majeurs. Les acteurs du secteur hospitalier et des filières de soins doivent maîtriser des tensions telles que les pics d'activité et les engorgements de services qui sont liées aux flux des patients et aux flux de processus de soins. Aujourd'hui le réel problème des établissements de santé est l'afflux des patients imprévus aux Urgences, car ces acteurs se trouvent démunis en termes de méthodologies et d'outils d'aide à la décision et de pilotage adaptés.

Nous avons choisi un secteur qui représente particulièrement les tensions à l'hôpital : le SUP du CHRU de Lille. Dans ces SU comme partout en France, de nombreux patients attendent pendant de longues heures (parfois plus de 10 heures) avant de voir un médecin. Ces longs délais peuvent mettre en danger la vie des patients. Ce phénomène interminable des longues

² <http://www.sfm.u.org>

durées d'attente met en évidence la nécessité de revoir le processus de gestion des Urgences et la mise en œuvre de mesures visant à préserver la qualité des soins pour les patients. Actuellement, il n'y a pas d'outils pour gérer les patients en cas de tension dans les SUP, qui est un environnement délicat, et aucune mesure concrète n'a été adoptée pour résoudre le problème des longues durées d'attente des patients. Submergés, malmenés ou en manque de ressources, les Urgences ont de plus en plus de mal à faire face à l'afflux des patients. Le SUP du CHRU de Lille a bien compris qu'il fallait optimiser le flux des patients afin d'éviter les zones d'engorgement, qui sont généralement représentées par les Urgences et se propagent dans tout l'Hôpital. C'est ainsi qu'est né le projet HOST (projet « Hôpital, Optimisation, Simulation et évitement de la Tension »).

Le projet HOST a pour but d'étudier et de développer la modélisation, l'optimisation et la mise en œuvre d'un Système d'Aide à la Décision pour anticiper la tension de l'hôpital et d'établir des propositions d'évitement de ces tensions. Pour cela, le projet s'est concentré sur le secteur des Urgences et de l'hospitalisation pédiatrique du CHRU de Lille qui est particulièrement représentatif de ces tensions à l'hôpital.

En coopération avec le CHRU de Lille, dans le but de répondre à ces défis, nous sommes intéressés à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un ***Système Collaboratif d'Aide à l'Ordonnancement et l'Orchestration (SysCAOO)*** pour la modélisation de l'architecture du SUP et l'optimisation de son fonctionnement. Cet outil propose un modèle raffiné pour les besoins logistiques dans des conditions d'urgence, en tenant compte du fonctionnement existant. Actuellement, il n'y a pas de systèmes d'information utilisés, le SUP a seulement des outils pour saisir les données relatives aux patients.

▪ **Problème de tension**

Appliquer des techniques de management de projet peut permettre de gérer de nombreux aspects concernant les différents acteurs. En effet, un projet est conçu pour fournir le bon output (soins du patient) au bon moment avec des dépenses appropriées. Mais ce travail, comme dit précédemment, va permettre de gérer les flux des patients à l'hôpital en période de tensions.

Dans la littérature, il est clair que, malgré l'existence d'un accord explicite entre les chercheurs sur l'ampleur et la gravité des conséquences de l'augmentation soutenue de la fréquentation des SU, plusieurs questions se posent sur la définition du phénomène de tension et les actions à prendre pour y faire face (Moskop et al. 2004; Carter et al. 2014). Dans la littérature, nous constatons que les chercheurs utilisent des termes tels que: Tension, Congestion ou, Crise (Kadri et al. 2014). Peu importe les termes utilisés dans la littérature, la tension est une situation qui reflète les conséquences d'un déséquilibre entre l'offre et la demande de soins dans les SU. Ce déséquilibre est toujours un générateur de tension dans les différentes unités d'un SU.

Dans le cadre du projet HOST nous avons défini la tension comme un régime transitoire résultant d'un déséquilibre entre :

- Le flux de charges en soins (patients),
- Et la capacité de prise en charge (personnels et ressources physiques),
- Sur une durée suffisante,
- Pouvant entraîner des conséquences néfastes sur le bon fonctionnement du service.

Cette définition permet donc d'avoir une meilleure vision de l'enjeu de ce travail et précise par la même occasion notre problématique :

Comment gérer un projet de changement dans un service hospitalier: évitement de la tension ?

Effectivement, la performance de l'hôpital est fortement liée à l'ensemble des performances des services le constituant, notamment le SU. Les Urgences pédiatriques en particulier représentent en général un petit pourcentage des interventions des secours (les types d'activités susceptibles d'intéresser l'enfant sont bien évidemment différentes de celles qui concernent l'adulte). La relative rareté de ce type d'intervention et la grande urgence dans certains cas, fait de l'urgence pédiatrique un art difficile et souvent mal maîtrisé par le personnel intervenant. Voilà pourquoi, l'augmentation en permanence du nombre des patients arrivant dans le service est l'un des facteurs qui rend la gestion de ces flux complexe.

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une description du système de santé en France et nous nous sommes attardés sur les SU, en particulier l'organisation des SUP qui représente le terrain d'étude de notre travail.

Nous avons mis l'accent sur la complexité de gestion des établissements de santé et surtout celle des Urgences. Cette complexité est due à leur organisation excessivement complexe à cause de la multitude des acteurs, la sensibilité de sa gestion, la multiplicité des métiers, la nature des tâches de soin, etc.

Nous avons finalement mis en exergue les problèmes liés à la gestion des Urgences pédiatriques, ce qui nous a permis de cerner les principaux enjeux de cette thèse afin de mettre en place un système d'aide à l'optimisation ayant pour but d'assurer le bon fonctionnement des SUP.

Dans les chapitres suivants, nous proposerons une nouvelle approche combinant l'optimisation et les SMA. Un état de l'art sur les différentes approches et outils de modélisation et d'optimisation des systèmes hospitaliers sera présenté dans le deuxième chapitre.

CHAPITRE II. Approches et outils de modélisation et d'optimisation des systèmes hospitaliers

II.1 Introduction

L'objet de ce chapitre est d'élaborer de nouvelles approches méthodologiques pour la conception et le pilotage (prévisionnel et réactif) des systèmes de production de soins complexes et plus particulièrement des filières d'urgence.

Les approches proposées intégreront les problématiques liées au dimensionnement des infrastructures et des ressources humaines, à la configuration, à l'organisation et au pilotage des filières d'urgence. Elles s'intéresseront également aux problématiques de stratégie, d'évaluation de la performance et de traçabilité du parcours patient. Elles prendront en compte la problématique de l'appropriation de ces nouvelles organisations et outils.

II.2 Les outils de modélisation

La modélisation a pour but de comprendre les mécanismes qui lient les phénomènes à leurs causes en se référant à la réalité. (Aggleton et al. 2002). Dans la littérature, plusieurs méthodes et outils de modélisation, d'optimisation et de simulation ont été utilisés dans les systèmes hospitaliers et en particulier les SU. (Fone 2003 ; Jun et al. 1999 ; Gúnal et Pidd, 2010; Brailsford 2004 ; Anagnostou et al. 2013 ; Daknou et al. 2012 ; Komashie et al. 2005). Ces méthodes sont choisies en fonction des différentes propriétés du système hospitalier et donc

en fonction de la finalité de la modélisation. Dans ce qui suit, nous allons présenter certains outils et modèles pouvant être utiles pour la simulation en santé.

II.2.1 Modélisation UML (Unified Modelling Language)

L'UML est un langage de modélisation graphique et textuel. Il fournit les moyens de description et de spécification des besoins ainsi que la documentation des systèmes indépendamment de toute méthode ou de tout langage de programmation.

Le langage UML est composé de :

- Vues, pour la description du système d'un point de vue donné (temporel, organisationnel, architectural, dynamique, etc.) ;
- Diagrammes, pour la description graphique du contenu des vues (notions abstraites);
- Modèles d'éléments, des briques de base utilisées dans les différents diagrammes UML.

En outre, l'UML permet, grâce à son formalisme graphisme, de visualiser une solution objet tout en limitant les ambiguïtés. Ceci facilite la comparaison et l'évaluation des solutions. C'est un langage universel facile à assimiler et compatible avec plusieurs supports (Augusto 2008).

II.2.2 Modélisation Workflow

Le Workflow a été initialement créé dans le cadre de gestion des entreprises (Marquardt et Nagl 2004). Il est utilisé aujourd'hui pour la modélisation et la simulation des phénomènes scientifiques. Le Workflow est un outil qui se base sur l'UML pour la représentation et la mise en œuvre des systèmes. Il donne aux acteurs humains la possibilité d'interagir avec le système via des interfaces graphiques. En effet, l'utilisateur peut à tout moment avoir la bonne information afin de réaliser les tâches en cours. Il peut aussi rentrer les informations nécessaires dans le système. Le Workflow est composé des activités, des événements, des transitions et des branchements conditionnels.

Le Business Process Modeling Notation (BPMN) est un langage graphique de Workflow développé la BPMI³ (Chinosi et Trombetta 2012). Il existe plusieurs logiciels se basant sur ce langage. Ces logiciels sont les outils du Workflow qui peuvent grâce à des modules de simulation de vérifier le bon déroulement des processus. Suite à une comparaison des différents outils du Workflow (Liu et al. 2011), l'outil *BonitaSoft*⁴ s'est démarqué par rapport aux autres par l'existence d'une version gratuite intéressante, la possibilité de la mise en œuvre du modèle grâce à un moteur intégré, la génération automatique des interfaces, la

³ Business Process Management Initiative

⁴ <http://www.bonitasoft.com>

simulation de la modélisation mise en place et la possibilité de relier grâce aux connecteurs le système Workflow à d'autres systèmes externes.

II.2.3 Les Systèmes Multi-Agents (SMA)

II.2.3.1 L'approche SMA

Le domaine des SMA permet de modéliser un système informatique sous forme d'entités autonomes qui vont coopérer pour résoudre un problème complexe difficile à traiter d'une manière centralisée. Les agents autonomes et les SMA ont donné lieu à une nouvelle façon de voir, d'analyser, de modéliser et de concevoir les systèmes informatiques complexes. Les SMA reposent sur les concepts d'agents, d'organisation d'agents, d'interaction entre agents et sur la communication entre eux. Nous présentons dans cette section l'ensemble de ces concepts tels qu'ils ont été définis dans la littérature.

II.2.3.1.1 Notion d'agent

Le paradigme de l'Intelligence Artificielle (IA), visant à concentrer les capacités intelligentes en une entité unique, s'est révélé insuffisant pour résoudre certains types de problèmes complexes. Afin de combler certaines limites de l'IA, un sous domaine a émergé prônant le passage d'une "intelligence individuelle" à une "intelligence collective" (Labarth 2007). L'alternative de l'IA Distribuée consiste à distribuer l'expertise sur un groupe d'entités autonomes en interactions, permettant ainsi de parer le schéma de centralisation de l'IA, (Demazeau, 1995). Tout comme la résolution des problèmes distribués, les SMA constituent un axe important de la recherche en IA distribuée (Weiss 1999).

Les SMA permettent « *de modéliser le comportement d'un ensemble d'entités expertes, plus ou moins organisées selon des lois de type social. Ces entités ou agents, disposent d'une certaine autonomie, et sont immergées dans un environnement dans lequel et avec lequel elles interagissent.* » (Yuan et al. 2002).

Dans ce contexte les SMAs permettent d'étudier les comportements collectifs qui résultent de l'organisation et des interactions entre agents pour la résolution de problèmes.

Dans la littérature scientifique, il existe plusieurs définitions de la notion d'agent. Wooldridge et al. (1995) définissent un agent comme étant un : « *Système informatique situé dans un certain environnement et capable d'agir de façon autonome dans cet environnement afin de réaliser ses objectifs* ».

C'est un système utilisé dans de nombreux modèles d'intelligence distribuée. La propriété fondamentale d'un agent est son autonomie : l'agent peut agir sans interaction directe avec l'humain ou avec un autre système. Il a le contrôle sur son comportement et son état.

Une définition plus élaborée de la notion d'agent a été constituée par *Ferber* dans son ouvrage (Demazeau, 1995), où il définit un agent comme suit :

Un agent est une entité physique ou virtuelle :

- qui est capable d'agir dans un environnement ;
- qui peut communiquer directement avec d'autres agents ;
- qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels) ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser ;
- qui possède des ressources propres ;
- qui est capable de percevoir, mais de manière limitée, son environnement ;
- qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune) ;
- qui possède des compétences et des offres de services ;
- qui peut éventuellement se reproduire ;
- dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.

II.2.3.1.2 Caractéristiques

Le concept d'agent intelligent s'étend donc aux propriétés suivantes :

- Réactivité: capable de réagir aux changements au sein de son environnement.
- Proactivité: ne se contente pas de réagir, il prend aussi des initiatives pour réaliser ses propres buts.
- Sociabilité : agit avec d'autres agents ou humains, en échangeant des informations. (Exemple de protocole: négociation).

II.2.3.1.3 Typologies des agents

Les agents peuvent être classés selon différentes propriétés, telle que la granularité (degré d'intelligence). L'intelligence d'un agent se base sur sa capacité de raisonner, d'apprendre, de comprendre et de planifier. Cette propriété est également liée à son autonomie et sa flexibilité dans un environnement dynamique. En général, trois degrés d'intelligence sont distingués, ils sont classés ici du moins important au plus important:

- les agents *réactifs* : ce sont des agents passifs qui réagissent seulement à un stimulus. Ce type d'agent ne dispose pas de module de raisonnement interne ;
- les agents *proactifs* : ce sont des agents dynamiques qui entreprennent car ils possèdent, en plus de leurs attributs et méthodes, des processus internes qui leur permettent de prendre des initiatives pour réaliser leurs buts. Un agent proactif est donc un agent dirigé buts ;
- les agents *cognitifs* : un agent cognitif raisonne avant d'agir, il est souvent associé au trio bouclant: perception-raisonnement-action. Il possède, en plus de ses buts, des

notions psychologiques qui peuvent être exprimées par le biais des attitudes mentales comme les croyances, les intentions et les désirs.

Le courant cognitif prédispose les agents à être dotés d'un outil d'abstraction pour les décrire comme des systèmes intentionnels. Plusieurs modèles existent, les plus connus sont : le modèle BDI (Believe, Desire, Intention) et le modèle BUC (Believe, Uncertainty, Choice).



Figure II-1 : Agents

II.2.3.1.4 SMA

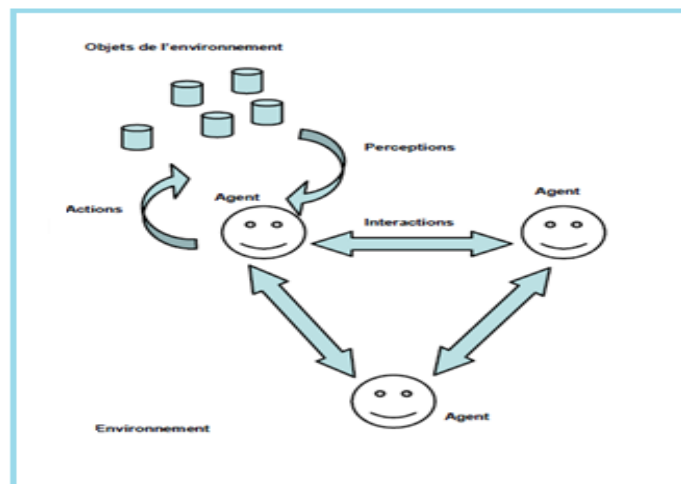


Figure II-2 : SMA

Un SMA est défini par Ferber comme étant un système composé de (Ferber 1995) :

- un environnement ;
- un ensemble d'objets passifs pouvant être perçus, créés, modifiés ou détruits par des agents ;
- un ensemble d'agents actifs ;
- un ensemble de relations qui relient les objets entre eux ;

- un ensemble d'opérations ou de compétences offrant la possibilité aux agents de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des lois de l'environnement, un ensemble de lois qui sont des opérateurs chargés de représenter l'application des actions des agents sur le monde et la réaction de ce monde à ces actions et qu'on appellera des lois universelles (Figure II-2).

Pour concevoir un SMA, il ne suffit pas de placer plusieurs agents dans un même environnement, il faut en plus que ces agents interagissent (Larbarth 2006). L'analyse et le développement d'un SMA nécessitent la prise en compte de multiples dimensions. Dans l'approche Voyelle AEIO (Demazeau 1995), quatre dimensions sont identifiées: l'Agent, l'Environnement, les Interactions, l'Organisation. Les modèles d'agent dressent la typologie des agents. Les modèles d'environnement correspondent aux milieux dans lesquels évoluent les agents. Les modèles d'interaction passent par l'élaboration d'un ensemble de règles en adéquation avec la granularité d'un agent (Communication, coordination, négociation, etc.).

Finalement, un tel agent est capable d'ordonnancer (avec ses connaissances), de modifier (réactivité) et d'optimiser (sans aide extérieur). Cependant un des pièges des SMA est l'abondance d'informations qui circulent (information overhead). Nous limitons donc le nombre d'agent en organisant des équipes ou des coalitions. Chaque agent aura son propre domaine de compétence et de connaissances, son champ d'action est ainsi limité.

II.2.3.1.5 Environnement

L'environnement dans le cadre des SMA est défini par les propriétés suivantes (Weiss 1999):

- *Accessible* si un agent peut, à l'aide de primitives de perception, déterminer l'état de l'environnement et ainsi procéder, par exemple, à une action. Si l'environnement est inaccessible alors l'agent doit être doté de moyens de mémorisation afin d'enregistrer les modifications qui sont intervenues ;
- *Déterministe* si l'état futur de l'environnement ne dépend que des actions réalisées par les agents et de son état courant ;
- *Épisodique* si le prochain état de l'environnement ne dépend pas des actions réalisées par les agents ;
- *Statique* si l'état de l'environnement ne change pas pendant que l'agent délibère. Sinon il est qualifié de Dynamique ;
- *Discret* si le nombre des actions et des états possibles de l'environnement est fini. Sinon il est qualifié de Continu.

II.3 Théories et concepts d'optimisation

Un problème d'optimisation (Pardalos et Resende 2002) consiste à trouver les meilleures valeurs des variables selon une *fonction objectif* f donnée appelée aussi *fonction de coût* ou encore *critère d'optimisation*, tout en respectant un ensemble de contraintes. Tout problème

d'optimisation peut être défini comme la recherche de l'optimum (minimum ou maximum) d'une fonction f donnée. Le besoin d'optimiser est à l'origine de la nécessité de fournir à l'utilisateur un système qui répond à ses exigences.

II.3.1 L'optimisation combinatoire

La difficulté du problème d'optimisation dépend de la nature des variables, discrètes ou continues. Lorsque les variables sont discrètes, le problème est appelé un Problème d'Optimisation Combinatoire (POC) (Papadimitriou et Steiglitz 1982). La Définition 1 donne une description formelle d'un POC.

Définition 1 Un POC ϕ est défini comme suit:

- Un ensemble de variables $X = \{x_1, \dots, x_n\}$;
- Chaque variable x_i est associée à un domaine D_i , tel que $x_i \in D_i$;
- Un ensemble de contraintes liant les variables ;
- Une fonction objectif pour minimiser (ou maximiser) : $f : D_1 \times \dots \times D_n$.

L'ensemble Ω est appelé l'espace de recherche. Une solution possible pour le problème ϕ est un élément $s \in \Omega$ tel que $s = \{v_1, \dots, v_n \mid v_i \in D_i, \text{ et toutes les contraintes sont satisfaites} \}$. Résoudre un POC avec une fonction objectif à minimiser consiste à trouver une solution s^* telle que $\forall s \in \Omega, f(s^*) \leq f(s)$ (ou $f(s^*) \geq f(s)$ en cas de maximisation). La section suivante fournit quelques exemples de POC. La résolution de tels problèmes peut être réalisée par l'énumération de toutes les solutions possibles.

Cependant, l'énumération est peu pratique et inefficace si le nombre de solutions possibles est énorme. D'où le besoin de techniques efficaces et efficientes pour résoudre Ω si ϕ est énorme.

II.3.2 Théorie de complexité

La définition officielle d'un algorithme est introduite par Alain Turing (Turing 1937). Cette définition est déduite de la notion d'un langage pour une machine abstraite, appelée la machine de Turing. En résumé, un algorithme peut être défini comme suit:

Un algorithme A est une série finie d'instructions permettant à l'utilisateur de résoudre un problème défini ϕ . Par exemple, pour résoudre un POC, un algorithme représenterait toutes les étapes nécessaires pour trouver une solution s^* . Un algorithme est *une approche heuristique* quand il ne garantit pas de trouver une solution s^* mais une solution s qui est aussi proche que possible de la solution s^* , avec $|f(s^*) - f(s)| < \varepsilon$, ε étant un nombre très petit.

Il existe de nombreuses méthodes de mesure de performance de l'algorithme A :

- La durée d'exécution : le temps passé à trouver la solution s^* ,

- La mémoire : l'espace mémoire nécessaire à son fonctionnement,
- La qualité de la solution,
- La robustesse : la capacité de l'algorithme à s'adapter au changement des entrées du problème.

La durée d'exécution dépend de la machine utilisée. La théorie de la complexité a été introduite pour mesurer la performance d'un algorithme sans tenir compte de la vitesse de la machine sur laquelle il est exécuté. L'idée consiste à définir des bornes asymptotiques en se basant sur la taille des paramètres des entrées.

Définition 2 La complexité algorithmique C_A d'un Algorithme A est définie comme un nombre d'instructions nécessaires pour résoudre toute instance d'un problème ϕ de taille n .

La notation de Landau définit par exemple des bornes asymptotiques inférieures et supérieures pour C_A . La notation O correspond à une borne supérieure de C_A : A est de complexité $O(g(n))$ si $\exists M > 0, \exists n_0$ tels que $\forall n > n_0, C_A \leq Mg(n)$.

Un Algorithme A est dit polynomial si $g(n)$ représente une fonction polynomiale.

Ci-dessous, quelques exemples de complexité algorithmique:

- $O(1)$: complexité constante indépendante de la taille de ϕ ,
- $O(\log(n))$: une fonction logarithmique de la taille de ϕ ,
- $O(n)$: une fonction linéaire de la taille de ϕ ,
- $O(n^p)$: (avec $p \geq 2$) fonction polynomiale de la taille de ϕ ,
- $O(a^n)$: (avec $a \geq 2$) fonction exponentielle de la taille de ϕ .

La complexité peut aussi dépendre de certains paramètres du problème. Par exemple, $g(n) = n^p v^q$ avec v un paramètre du problème et q une constante. Dans ce cas, l'algorithme est dit *pseudo-polynomial*.

II.3.3 Complexité des problèmes de décision

Etant donné que la résolution de problèmes complexes en général et des problèmes d'optimisation en particulier est le centre d'intérêt de plusieurs chercheurs, la performance informatique a subi un progrès remarquable. Pour certains problèmes d'optimisation, on n'a pas encore trouvé un algorithme polynomial qui permet de les résoudre. Pour d'autres, une résolution par un algorithme polynomial est possible. Ainsi, il serait évident de classer les problèmes en fonction de la complexité des algorithmes de leur résolution (Garey et Johnson 1979).

Pour introduire la notion de classes de complexité des problèmes, nous introduisons la définition des problèmes de décision: un problème de décision est un problème auquel la

réponse est soit un oui ou un non. Chaque problème d'optimisation avec une fonction objectif f dispose d'un problème de décision équivalent.

II.3.4 Optimisation multi-objectif et notion de Pareto-optimalité

Un problème d'optimisation multi-objectif peut être défini comme suit :

Minimiser $f_1(x), f_2(x), \dots, f_L(x)$ où x est une solution possible pour le problème considéré, Ω est l'espace de solution possible et $f_q(\cdot)$ est la $q^{\text{ième}}$ fonction objectif (pour $1 \leq q \leq L$).

Toutefois, pour utiliser une telle description, la notion d'optimalité devrait être reformulée lorsque les fonctions objectif à minimiser ne sont pas linéaires. Considérée comme l'une des notions d'optimalité multi-objectif les plus connues, le concept d'optimalité au sens de Pareto a été intensivement utilisé dans la littérature et a considérablement contribué à l'élaboration d'un grand ensemble de travaux. L'objectif de tel concept est d'assurer une flexibilité et offrir plus de choix au décideur. Les solutions incluses dans l'ensemble optimal au sens de Pareto sont celles qui ne peuvent pas être améliorées quelle que soit la dimension sans être simultanément détériorées dans d'autre(s) dimension(s). La notion d'optimalité dans les approches de Pareto peut être formulée comme suit :

- L'ensemble optimal au sens de Pareto est constitué de solutions non dominées,
- Une solution x est non dominée, s'il n'existe pas une solution y qui la domine,
- x domine y si $\forall 1 \leq q \leq L, f_q(x) \leq f_q(y)$ et au moins un indice r existe tel que $f_r(x) < f_r(y)$.

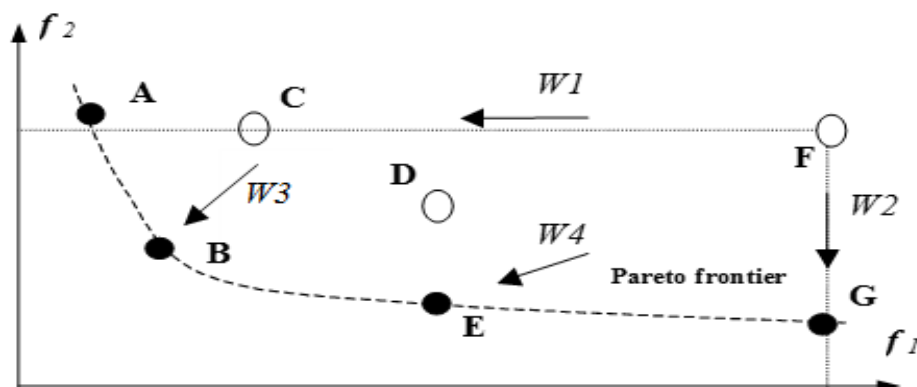


Figure II-3 : Approche d'optimalité au sens de Pareto

A titre exemple, dans la Figure II-3, nous considérons 2 cas de fonctions objectif. Les solutions C, D , et F sont dominées et $\{A, B, E, G\}$ est l'ensemble optimal de solutions au sens de Pareto. Nous pouvons remarquer que l'ensemble optimal au sens de Pareto est constitué de plusieurs solutions non dominées. L'objectif principal d'une telle approche est de trouver tous les

éléments de cet ensemble dans le but de donner plus de choix au décideur (Ishibuchi et Murata 1998). Plusieurs méthodes et approches ont été proposées pour la résolution des problèmes d'optimisation multi-objectif.

Nous présentons dans la suite une idée générale sur quelques méthodes utilisées pour résoudre les POC.

II.4 Résolution des problèmes d'optimisation

Avant d'appliquer toute approche afin de résoudre un POC, un prétraitement peut parfois être appliqué pour réduire la taille d'un problème ou découvrir les dépendances utiles pour faciliter le traitement. Nous donnons d'abord un exemple de prétraitement. Ensuite, les algorithmes heuristiques et Métaheuristiques seront décrits.

II.4.1 Le prétraitement

Le prétraitement est une technique utilisée pour modifier le problème afin de faciliter le processus de sa résolution. Le prétraitement réduit habituellement l'espace de recherche du problème en analysant les données du problème et sa nature, à savoir la fonction objectif et les contraintes. Par exemple, en analysant les contraintes d'un POC ϕ , certaines variables x_i peuvent être fixes ou la taille de D_i peut être réduite. Cependant, il faut garantir que la solution pour le problème réduit soit la solution optimale pour l'original.

II.4.2 Les approches de résolution

Il existe plusieurs méthodes de résolution pour les problèmes d'optimisation multi-objectif. Ces méthodes peuvent être classifiées en cinq groupes (Collette et al. 2002):

- Les méthodes scalaires ou approches naïves ; ce sont les méthodes les plus évidentes visant à transformer le problème multi-objectif à résoudre en un problème d'optimisation mono-objectif disposant de nombreuses méthodes de résolution. La nouvelle fonction objectif peut être obtenue par la sommation de toutes les fonctions objectif, en attribuant un coefficient de pondération à chaque fonction.
- Les méthodes interactives permettant de chercher une solution unique. Elle donne la possibilité à l'utilisateur d'exprimer ses préférences vis-à-vis d'un compromis entre objectifs, en cours ou après l'optimisation.
- Les méthodes floues qui se basent sur la logique floue pour la résolution des problèmes d'optimisation multi-objectif.
- Les méthodes d'aide à la décision qui représentent les seules méthodes basées sur des relations de dominance et travaillant sur des ensembles discrets. Elles génèrent des solutions grâce à une relation d'ordre entre les éléments.
- Les méthodes exploitant une Métaheuristique ; ces méthodes forment une grande famille des méthodes de résolution des problèmes d'optimisation difficile. Elles concernent les problèmes d'optimisation globale à variables continues et les problèmes d'optimisation combinatoire à variables discrètes

II.5 Les Métaheuristiques

Les Métaheuristiques (Blum et Roli 2003; Glover et Kochenberger 2003) sont les algorithmes les plus élaborés et représentent une grande partie des techniques utilisées pour résoudre la plupart des POC. Les Métaheuristiques discrètes qui consistent à trouver la meilleure solution dans l'ensemble des solutions réalisables est fortement présentes dans le domaine de l'optimisation combinatoire.

Une **méthode classique d'amélioration itérative**, basée sur la recherche locale initialement configurée au hasard, risque de tomber dans le piège de l'optimum local. Elle permet la génération d'une nouvelle solution par une modification élémentaire qui conduit soit à une amélioration de la fonction objectif et la nouvelle configuration obtenue devient le nouveau point de départ pour l'essai, soit à la dégradation de la fonction objectif et la configuration précédente est reprise avant de recommencer le calcul.

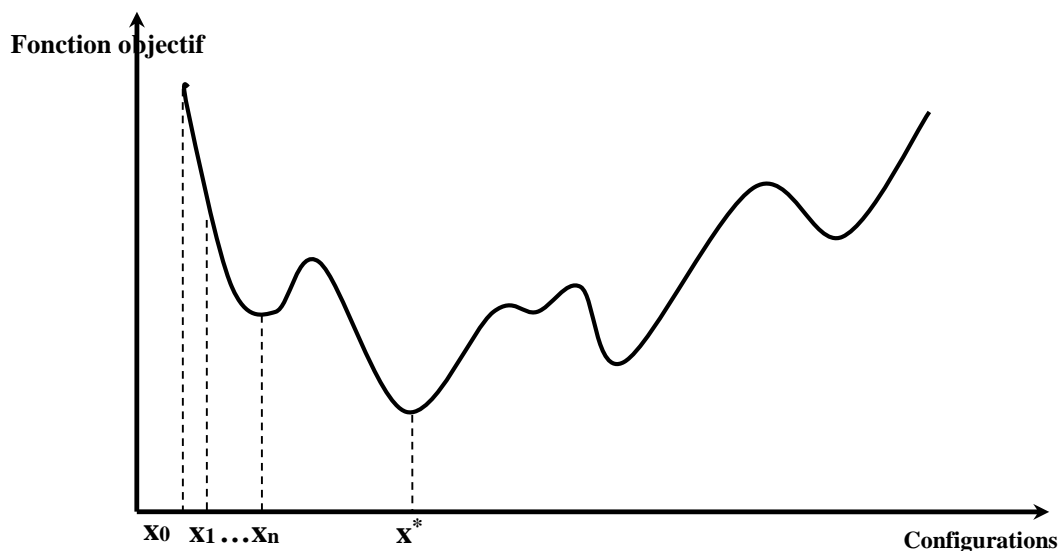


Figure II-4 : Allure de la fonction objectif d'un problème d'optimisation difficile

De la Figure II-4 nous pouvons remarquer qu'un algorithme classique aboutit généralement à un optimum local et non absolu. Cet optimum local représente la meilleure des solutions possibles compte tenu de l'hypothèse initiale. Pour que cette méthode soit efficace, elle peut être appliquée d'une manière itérative en changeant les conditions initiales. Le meilleur des optimums locaux constitue la solution finale. L'utilisation de cette approche ne garantit pas une configuration optimale et augmente le temps de calcul, ce qui rend inutile la répétition de l'application surtout quand le nombre des optimums est une fonction exponentielle de la taille du problème étudié. Autoriser une dégradation provisoire de la fonction objectif au

cours du changement de la configuration représente la base de toutes les Métaheuristiques pour faire face aux obstacles des optimums locaux. Chaque Métaheuristique dispose d'un mécanisme de contrôle des dégradations qui permet d'éviter la divergence du procédé.

De nombreuses Métaheuristiques existent aujourd'hui et leur conception provient de diverses sources d'inspirations. Certaines sont faites par analogie à d'autres domaines scientifiques comme la physique (Recuit Simulé (RS)), la biologie (Algorithmes de Colonie de Fourmis (ACF) et les Algorithmes Evolutionnaires (AE)), la neurologie (recherche tabou) et la sociologie (Algorithmes Mémétiques (AM), optimisation par essaim de particules et SMA). Nous présentons dans le paragraphe suivant, certaines approches existantes de Métaheuristiques.

II.5.1 Procédure de recherche gloutonne aléatoire adaptative (Feo et Resende 1995)

Cette procédure est une version élaborée d'heuristiques constructives avec recherches locales. Dans chaque itération, une nouvelle solution est générée en utilisant des éléments aléatoires. La solution est alors améliorée en utilisant une recherche locale. La meilleure solution est sauvegardée au cours du processus.

II.5.2 Recherche Locale Itérative (RLI) (Glover et Kochenberger 2003)

La RLI consiste à mélanger les recherches locales avec perturbation/mutation d'éléments. Dans chaque itération, la solution actuelle s est modifiée et perturbée en utilisant les deux opérateurs. Tout d'abord, la solution est perturbée par l'opérateur de mutation. Elle est par la suite améliorée en utilisant un opérateur de recherche locale. Si $f(s')$ est mieux que $f(s)$, s' remplace s et devient la solution actuelle.

II.5.3 Recherche à Voisinage Variable (RVV) (Hansen et Mladenovi 2001)

Plusieurs voisinages sont utilisés dans la recherche locale pour échapper à l'optimum local. Une solution peut être un optimum local dans un voisinage mais pas dans un autre. L'algorithme RVV se déroule comme suit : Compte tenu de la solution actuelle s (initialisée aléatoirement en utilisant une heuristique), un ensemble de voisinages (N_1, N_2, \dots, N_k) est lui est associé et i l'indice du voisinage actuel (initialisé à 1). Dans chaque itération de l'algorithme, le voisinage N_i est exploré pour obtenir une nouvelle solution s_0 . Si s_0 est mieux que s , alors s_0 devient la solution actuelle, sinon i est augmenté pour l'itération suivante. Lorsque la solution ne peut pas être améliorée, l'algorithme modifie le voisinage dans l'espoir de trouver un meilleur voisinage ou de diversifier la solution. Cette flexibilité a entraîné de nombreux schémas de RVV dans la littérature comme le RVV réduit et le RVV biaisé.

II.5.4 Le Recuit Simulé (RS) (Kirkpatrick et al. 1983; Cerný 1985)

En faisant une analogie avec la métallurgie, le RS concerne une solution s et considère l'énergie du système à une température T donnée (initialement une haute température) comme une fonction objectif du problème. Dans chaque étape, des transformations sur la solution actuelle sont effectuées afin d'obtenir une nouvelle solution s' . Si $f(s') < f(s)$

(dans le cas d'un problème de minimisation), s est remplacée par s' . Sinon, le remplacement est considéré avec une probabilité $e^{-\frac{f(s')-f(s)}{T}}$. De mauvaises solutions peuvent être acceptées pour permettre au système d'échapper à l'optimum local. La température est gérée par la stratégie de refroidissement.

L'inconvénient principal de cette méthode se manifeste lorsque le minimum local est au fond d'une « vallée profonde », ce qui rend impossible de s'en sortir en une itération unique. Les déplacements vers des solutions au voisinage peuvent aussi provoquer des déplacements opposés, ce qui mène à tomber dans le piège du minimum local.

II.5.5 La Recherche Tabou (RT) (Glover 1997)

Issue d'une perspective biologique, la RT émule la fonction de mémoire. Lors d'une itération t la recherche Tabou considère une solution s et une liste de solutions récemment visitées L_t appelée la liste Tabou. Le but de la liste Tabou est de mémoriser les solutions récemment visitées afin d'éviter leur ré-exploration. En outre, des stratégies permettent parfois de réexaminer ces solutions pour échapper à l'optimum local. L'algorithme explore le voisinage $N(s)$ et choisit la solution s_N^* à partir des meilleures solutions de $N(s) \setminus L_t$ pour remplacer la solution s . La liste Tabou L_{t+1} de l'itération suivante est la liste L_t avec la nouvelle solution s_N^* . Si la taille maximale de L_t est atteinte, l'ajout d'une nouvelle solution va automatiquement supprimer la solution la plus ancienne de la liste.

Pour les algorithmes basés sur la population, voici quelques-uns des plus connus:

II.5.6 Les Algorithmes Génétiques (AG) (Holland 1975)

Inspiré par la biologie moléculaire, l'AG considère une solution comme une structure de chromosomes contenant de bons et mauvais phénotypes. En supposant que les bons phénotypes font partie des solutions optimales, l'AG utilise le mécanisme de la reproduction, la sélection naturelle et le principe de mutation pour produire de nouvelles solutions dans lesquelles le chromosome contient de meilleurs phénotypes. En pratique, à chaque itération, un ensemble de chromosomes est sélectionné pour la reproduction. Les chromosomes sélectionnés sont ensuite croisés pour produire de nouveaux chromosomes appelés chromosomes enfants. Les enfants sont alors mutés en utilisant un opérateur de mutation avec une faible probabilité. Leur *fitness* (qualité de la solution) est alors calculée et ils sont par la suite insérés dans la population. La population considérée après croisement dépend de la variante de l'algorithme. La première variante est l'AG de Génération (AGG) dans lequel seuls les nouveaux chromosomes constituent la population. La deuxième variante est l'AG à l'Etat Stable (AGES), dans lequel les enfants ne sont pas insérés directement, mais sont en concurrence avec les chromosomes existants.

II.5.7 La méthode de recherche distribuée

C'est une variante peu connue des AE vu son échec dans la résolution des problèmes d'optimisation. En effet, elle n'est pas en relation directe avec le domaine de la génétique et ne représente aucune restriction imposée sur la structure des solutions admissibles.

L'algorithme fonctionne sur un ensemble de *référence*. L'ensemble de *référence* représente les meilleures solutions trouvées. A chaque itération de l'algorithme, de nouvelles solutions sont générées de manière aléatoire ou d'une heuristique et sont ensuite combinées avec les *références* pour disposer de solutions intermédiaires. Les solutions générées (nouvelles et intermédiaires) sont ensuite améliorées en utilisant une recherche locale. Les meilleures des solutions améliorées sont insérées dans l'ensemble de *référence*. Cette mise à jour de l'ensemble de *référence* doit assurer la diversité dans les *références* de la population.

II.5.8 Les Algorithmes de Colonies de Fourmis (ACF)

Ces algorithmes sont inspirés des comportements des fourmis. Un ACF est une Métaheuristique basée sur la population qui peut être utilisée pour trouver des solutions approchées aux problèmes d'optimisation combinatoires. Dans un ACF, un ensemble d'agents logiciels appelé fourmis artificielles recherchent de bonnes solutions à un problème d'optimisation donné. Pour appliquer un ACF, le problème d'optimisation se transforme en problème de recherche du meilleur chemin sur un graphe pondéré. Les fourmis artificielles construisent au fur et à mesure des solutions en se déplaçant sur le graphique. Le processus de construction de la solution est stochastique et est sollicité par un modèle de phéromone, soit un ensemble de paramètres associés à des composants du graphe (soit des nœuds ou des bords) dont les valeurs sont modifiées lors de l'exécution par les fourmis.

II.5.9 Les Algorithmes Mémétiques (AM) (Corne et al. 1999)

Le terme a été introduit par (Moscato 1989) et est largement utilisé dans des travaux récents pour souligner la méthode hybride entre la recherche globale (Métaheuristique classique) et la recherche locale. Il a été observé que l'AG, par exemple, n'est pas assez efficace pour certains problèmes (Hoos et Stützle 2004; Park et Carter 1995). La raison c'est que la mutation, le croisement et la sélection ne peuvent pas intensifier la recherche suffisamment. Le croisement et la mutation jouent un rôle dans la diversification de la population, mais semblent être pas assez efficaces pour améliorer la population. Pour y remédier, l'AG est habituellement hybridé avec les recherches locales. Une telle approche permet à l'algorithme d'intensifier la recherche dans les domaines explorés par les opérateurs génétiques. Dans certains AM, l'étape de mutation est remplacée par les recherches locales. Moscato (1989) a comparé les différentes versions de l'AM afin d'analyser la performance des différentes recherches locales.

II.6 Etat de l'art : Outils, modèles et approches d'optimisation en santé

II.6.1 Gestion des systèmes hospitaliers

L'analyse des dysfonctionnements dans les systèmes hospitaliers montre qu'ils sont dus en partie à une organisation mal adaptée aux contraintes, à l'évolution de leurs missions et à la mauvaise gestion des flux de patients (Colombier 2007 ; Gentil 2013). Ainsi, l'optimisation des systèmes de gestion et d'information sont deux leviers importants pour le succès de développement de ces systèmes. De ce fait, la mise en œuvre des systèmes de contrôle, stratégique, tactique et opérationnel de soins et des systèmes de production est devenue incontournable. Pour gérer la transition, il est nécessaire de définir les nouveaux paradigmes organisationnels, de nouveaux métiers pour la gouvernance et la gestion de ces nouvelles organisations ainsi que des mécanismes de soutien. La reconfiguration et l'amélioration du système de soins nécessitent une "réorganisation." Ce sont des problèmes dont la complexité appelle à des approches innovantes, complètes et scientifiques. La logistique hospitalière est le seul moyen qui permet d'atteindre ces objectifs.

Aujourd'hui, les SU dans les hôpitaux ont une position stratégique dans les systèmes de soins modernes et représentent la principale porte d'entrée à l'hôpital (Kadri et al. 2014 ; Bellou et al. 2003). Ce rôle clé sera renforcé dans les années à venir en raison de la croissance continue des arrivées des patients qui sont de plus en plus exigeants (Cooke et al. 2004). Ces changements posent de nombreux problèmes aux différents acteurs de la santé publique, y compris les problèmes de fonctionnement pour faire face à l'augmentation de consultations et le coût important des dépenses en santé (Cooke et al. 2004 ; Benjamin et al. 2013 ; Derler et Richard 2000, Pines et al. 2011 ; Schuur et Venkatesh 2012 ; Nathan et al. 2008). Cependant, si la majorité des systèmes de soins dans le monde sont confrontés à ces problèmes, les moyens pour y faire face diffèrent d'un pays à l'autre (Pines et al. 2008). Ainsi, afin de mieux comprendre les problèmes et les enjeux actuels, il est important d'abord de mettre les SU dans leur contexte général pour comprendre leur fonctionnement et leurs propres caractéristiques.

II.6.2 Les contraintes liées aux ressources humaines

Les systèmes de soins sont aujourd'hui confrontés à une pénurie de certaines ressources qui peuvent être trop coûteuses ou non disponibles. D'où le besoin d'optimiser l'utilisation de la ressource dans les établissements de santé. Il est donc nécessaire d'adopter des méthodes de gestion pour une allocation efficace des ressources dans les SU. Le problème d'affectation des ressources humaines est un problème de planification et d'organisation d'un ensemble de tâches de soins à effectuer par des ressources avec des performances variables (Portmann 2000). Dans la littérature, les auteurs considèrent deux étapes dans sa résolution (Khalouli et al. 2010). La première consiste à affecter judicieusement différentes tâches aux ressources appropriées. Dans l'ordonnancement classique, la ressource humaine est rarement prise en compte (Tchommo et al. 2003). Les problèmes de planification de ces ressources, leurs missions et leurs horaires ont été initialement soulevés dans l'industrie. La notion de degré

d'expérience pour représenter la compétence d'une ressource par rapport à une autre est rarement utilisée et considérée afin d'équilibrer la charge entre les ressources et de trouver les ressources les plus appropriées à une tâche. Dans (Gruat-La-Forme 2007), une approche prenant en compte les compétences pour mieux répartir la charge de travail a été élaborée. Cette approche considère les niveaux d'expérience des employés d'une unité de production pour évaluer les performances. La deuxième étape dans la résolution du problème d'affectation des ressources humaines est le séquençement des tâches et la détermination des dates de début de leur exécution en tenant compte des différentes contraintes de précédence et des ressources. Ainsi, plusieurs critères peuvent être pris en compte dans l'analyse et la résolution de cette alternative impliquant une programmation multicritère. En effet, deux grandes questions se posent. La première est la charge de travail du personnel médical. La seconde concerne les contraintes d'organisation et de conformité qui pourraient être imposées à l'avance. Cette variété de critères rend difficile d'évaluer les solutions réalisables et la comparaison entre les méthodes.

II.6.3 Mesures de performances des Urgences

Les performances des SU peuvent être évaluées en utilisant différentes mesures, telles que le temps d'attente des patients, leurs durées de séjour, l'utilisation des ressources et le nombre d'abandons (Green et al. 2006 ; Abo-Hamad et Arisha 2013 ; Mahdavi et al. 2013 ; Wang et al. 2012 ; Pines 2006). Des stratégies et des solutions peuvent alors être conçues sur la base de ces mesures pour l'amélioration de la performance dans le flux des patients, l'ordonnancement du personnel et des tâches de soins et le processus d'affectation. Green et al. (2006) ont utilisé un modèle de file d'attente pour l'identification des modèles d'affectation du personnel médical au SUP afin de réduire le taux de patients qui quittent le service sans être pris en charge. Les auteurs ont comparé les résultats sur une période de 39 semaines avant et après les changements d'horaires du personnel. Leur recherche conclut que l'ajustement des modèles d'affectation du personnel pour l'optimisation de la prise en charge rapide des patients est nécessaire pour réduire le nombre des abandons. Pines a prouvé que la mesure du nombre d'abandons aux SU n'a jamais été associé à la qualité médiocre de prise en charge des patients. La suggestion résultant était de ne pas considérer les patients qui quittent, mais de se concentrer sur les patients qui séjournent pour la mesure de l'amélioration du SU (Pines 2006). Cette recherche évalue la performance du SU pour les patients en considérant le temps d'attente pour la première prise en charge et la durée du séjour aux Urgences.

II.6.4 Stratégies d'amélioration du fonctionnement du SU

Différentes stratégies ont été proposées pour l'amélioration du parcours patient au SU y compris la modification du planning de travail, les ajustements de ressources humaines, les ajustements de rôles du personnel médical et la modification des procédures de prise en charge des patients pour réduire leur temps d'attente.

- **La modification du planning de travail du personnel médical**

Le flux des patients peut être amélioré grâce à une modification de planning des tâches de soin en changeant l'allocation des diverses ressources aux patients. L'utilisation des ressources supplémentaires est une solution directe pour libérer les goulots d'étranglement dans les SU mais ça représente une solution couteuse. Le planning de tâches de soins peut être mis à jour avec ou sans ressources supplémentaires. Cette mise à jour peut concerner l'évolution du nombre de places et de brancards aux Urgences, ou une zone supplémentaire de court séjour pour l'observation des patients stabilisés pour décharger les patients des soins aigus (Shim et Kumar 2010 ; Konnyu et al. 2012). Une cause essentielle des goulots d'étranglement dans les Urgences est la disponibilité de lits d'hospitalisation. Une amélioration significative de l'encombrement des Urgences peut également être faite par l'amélioration de la planification des rejets des patients par manque de lits d'hospitalisation (Powell et al. 2012).

- **L'ajustement des ressources humaines**

Bien que le changement du planning du personnel médical ou l'augmentation des ressources humaines et matérielles peut améliorer la capacité des SU, ils peuvent ne pas être réalisables dans la plupart des SU en raison de restrictions existantes d'espace et /ou limitation de budget. Les méthodes alternatives cherchent à maximiser l'utilisation du personnel médical existant. L'ajustement de ressources humaines concerne la planification du temps de travail du personnel médical pour les postes de jour et la modification du calendrier sur une période plus longue comme un mois. Des ajustements d'horaires de personnel peuvent mieux faire correspondre les ressources humaines disponibles avec les différentes exigences de la fluctuation des arrivées des patients. Les résultats observés montrent que le motif de la demande quotidienne est constamment à un niveau bas pendant la nuit, et se développe à un pic à midi (McCaig et Burt 2004). Par exemple, le nombre de médecins peut être programmé pour veiller à ce que la couverture maximale du médecin corresponde à la demande de pointe. L'autre méthode pour le ré-ordonnancement du personnel médical considère plus de plages horaires en accord avec les préférences du personnel médical (Carter et Lapierre 2001).

- **L'ajustement des rôles des acteurs du SU**

Le «rôle interne" du personnel médical peut être ajusté pour améliorer l'efficacité de fonctionnement du SU (Hay et al. 2006). Il est suggéré que chaque membre du personnel médical doit principalement accomplir les tâches de soins adaptées à ses compétences, et être affecté selon un seuil de compétences requis. La priorité d'affecter une tâche de soins à un membre du personnel médical dépend du niveau de compétences de ce dernier et sa formation initiale. Par exemple, la liste des priorités contribue à assurer que les médecins spécialistes se concentrent principalement sur les problèmes avancés et les diagnostics plutôt que sur les procédures de base que d'autres médecins sont en mesure d'effectuer.

- **Amélioration du parcours patient**

Les hôpitaux peuvent accroître leur efficacité en améliorant le parcours patient (Devaraj et al. 2013). Une stratégie basée sur la création des voies pour les soins externes a été initialement

introduite pour accélérer la prise en charge des patients ayant des opérations de soins non urgentes (Devaraj et al. 2013). Cinq scénarios alternatifs montrent que l'application de la voie rapide pour les patients qui nécessitent des soins mineurs pourrait notamment réduire la durée de séjour globale du patient. La recherche indique que 85 pour cent des demandes d'urgence sont dues à des patients non urgents ou avec des pathologies non graves (McGuire 1994). Le flux des patients peut être accéléré si les patients à faible acuité peuvent être évacués rapidement. De nombreuses études ont rapporté que la mise en place d'une Unité de Soins Rapide (USR) peut réduire le temps d'attente des patients (Wiler et al. 2010). Une équipe dédiée au triage dans les USR peut réduire le temps d'attente des patients et la durée de séjour au SU (Walley 2003).

- **L'optimisation par la chasse aux gaspillages : le Lean Healthcare**

Le Lean management est une démarche née dans les années 50 chez Toyota (Toyota Production System). Dans les années 90, elle a été reprise et élaborée sous le nom de Lean (qui signifie « maigre »). Lean a remplacé la méthode traditionnelle de production de masse afin de maximiser la qualité, la rapidité, l'efficacité opérationnelle et le coût (Holweg 2007).

La démarche Lean a pour but de reconfigurer les processus organisationnels pour minimiser les déchets et assurer une meilleure productivité basée sur l'utilisation d'outils et techniques d'analyse et la création d'une culture de l'amélioration continue (Womack et Jones 1996). Récemment, les projets Lean en santé sont devenus très courants. En effet, Brandao de Souza (2009) a montré qu'une grande partie de ces expériences ont eu lieu aux Etats-Unis (57%), avec une accroissance rapide au Royaume-Uni (29 %), suivie par l'Australie (4 %). En conséquence, Lean a été opté pour la gestion des services publics, notamment le secteur de santé (Radnor et al. 2011).

L'application de Lean en santé et surtout dans les hôpitaux exige la suppression des processus répétitifs et les procédures inutiles tels que: l'enregistrement des patients dans plusieurs emplacements, l'attente démesurée pour le personnel ainsi que la non synchronisation des processus de décharge qui engendre une durée de séjour excessive (NHSIII 2007).

Une étude récente sur l'emploi de Lean dans le secteur public a prouvé que 51 % des publications portent sur Lean, 13 % sur Business Process Reengineering et 35 % signalant leur utilisation dans les services de santé (Radnor et al. 2011). Ainsi, la nouvelle introduction du *Lean Healthcare* est aperçue comme une tentative visant à rationaliser et réorganiser les soins de santé en appliquant des pratiques de management du secteur privé (Waring et Bishop 2010).

Les premières apparitions en santé de Lean étaient au Royaume-Uni en 2001 et, aux Etats-Unis en 2002. Par exemple, le Centre *Virginia Mason Medical Seattle* (USA), *Flinders* en Australie et le *Royal Bolton NHS Foundation Trust* au Royaume-Uni sont très connus par la mise en œuvre du Lean dans le secteur de santé. Dans ce contexte, il y a plusieurs preuves tangibles sur l'impact potentiel de l'application de cette méthode sur la qualité et le coût.

Une étude bibliographique montre que l'évaluation du système de soins doit se baser sur des indicateurs de performance. La conception des outils d'aide à la décision s'avère aussi indispensable pour la gestion des systèmes de santé en fournissant aux fournisseurs de soins les informations et les indicateurs pertinents leur facilitant la prise et la validation des décisions.

II.6.5 Unité de Soins Rapide (USR)

Différentes méthodes ont été proposées basées sur le concept des unités de soins rapides, comme l'utilisation de principes fonctionnels pour séparer les patients en flux sur la base de la complexité plutôt que l'acuité (Ieraci et al. 2008) parce qu'ils partagent le même personnel médical, la séparation des patients de haute et de faible variabilité pour améliorer le débit et réduire la durée de séjour au SU (Arya et al. 2013) et l'amélioration de la durée de séjour au SU en utilisant une évaluation médicale préliminaire et un modèle d'orientation des patients (Asha et Ajami 2013).

Une méthode accélérée dite "See-and-Treat" a été proposée pour réduire le temps d'attente au SU en substituant l'infirmière de triage par un personnel chargé de l'accueil des patients pour les diriger à la file d'attente appropriée. Une équipe de médecins et d'infirmières praticiennes a été affectée pour évaluer et traiter les patients en toute transparence dans la zone de traitement secondaire (Davies 2007). Mais cette méthode présente le risque potentiel d'intensifier la pénurie de médecins dans la zone principale de traitement de SU.

Différents modèles ont été développés pour l'évaluation de l'USR tels que la comparaison d'une approche de tri de la voie de traitement rapide avec une méthode de tri en utilisant le ratio critique (Connelly et Bair 2004), et l'estimation de la variation des disponibilités du personnel médical dans les temps (McCarthy et al. 2012). Il a été suggéré que la rapidité est un facteur important de la satisfaction des patients pour des soins non urgents basé sur un tri rapide (McCarthy et al. 2011). La recherche a également révélé des résultats variables pour la durée de séjour pour différents patients pour évaluer l'impact de la méthode d'orientation utilisée dans le SU (Kinsman et al. 2008). L'implication des équipes de triage pour atteindre l'impact global sur la durée de séjour des patients peut dépendre des caractéristiques de chaque SU (Li et al. 2011). La recherche conclut que les modèles existants et les méthodes d'évaluation ne sont pas développés systématiquement (Mahdavi et al. 2013).

II.6.6 Les méthodes de simulation pour l'amélioration du fonctionnement du SU

II.6.6.1 Simulation à événements discrets (SED)

La simulation est l'un des outils les plus utilisés dans la recherche opérationnelle. Elle a été employée pour identifier les domaines potentiels pouvant être améliorés à travers l'analyse des différentes enquêtes relatives aux systèmes de soins (Mahdavi et al. 2013 ; Abouljinane et al. 2013 ; Khare et al. 2009). La simulation fournit aux gestionnaires des établissements de santé un outil pour évaluer les méthodes d'amélioration des performances du système (Niu

et al. 2013). La simulation peut aider à la compréhension de l'allocation optimale des ressources et leur utilisation, ainsi qu'à l'estimation et l'évaluation des systèmes actuels et proposés (Barrick 2009).

La SED est une méthode couramment utilisée dans la modélisation des systèmes complexes tel que le SU par les réseaux de Pétri (Chung 2003). Elle a été utilisée pour évaluer la performance des SU, examinant l'impact des changements opérationnels (Abo-Hamad et Arisha 2013), et l'évaluation de la durée de séjour et le temps d'attente des patients dans les Urgences (Zeng et al. 2012). Un modèle SED a visualisé des entités qui se déplacent à travers le système (Brailsford et Hilton 2001). Dans un modèle typique SED, plusieurs entités peuvent être traitées simultanément à différents postes à tout moment donné. L'état du système change seulement lors de l'apparition aléatoire en temps réel des événements discrets.

La SED est particulièrement utile pour identifier les goulots d'étranglement aux Urgences en un temps limité. Un modèle SED peut être conçu pour représenter le processus de consultation du patient, afin d'identifier les goulots d'étranglement, et d'ajuster l'allocation des ressources sans perturber le fonctionnement actuel du système (Wang et al. 2009). Par exemple, un modèle SED a été utilisé pour déterminer un niveau optimal de personnel médical dont on a besoin pour réduire la moyenne de durée de séjour des patients et améliorer le parcours patient et l'utilisation des ressources (Gul et Guneri 2012). Un système SED interactif a été proposé pour l'amélioration du fonctionnement du SU d'un hôpital dans le nord de Dublin, en Irlande. Un modèle de simulation peut déterminer le nombre d'abandons et le nombre optimal du personnel médical pour minimiser le coût du temps d'attente des patients, le temps d'inactivité des médecins et les heures supplémentaires (Huang et Zuniga 2014). La simulation peut prévoir les conditions de fonctionnement avec plusieurs mesures de la tension au SU (Hoot et al. 2008).

Les SU fonctionnent dans des environnements dynamiques avec des interactions entre les différents membres du personnel médical. Le résultat de ces interactions est basé sur les comportements humains. Les acteurs du SU, tels que les patients, les infirmières, les médecins et les autres membres du personnel de soins sont des êtres humains avec des capacités de raisonnement et de pensée différentes. Les entités intégrées dans le modèle SED sont normalement simples, réactives et limitées dans la prise de décision (Chung 2003). En outre, les capacités humaines telles que la « multi-tâche » doivent être capturées pour construire un modèle validé (Schriber et al. 2012). L'utilisation de la SED seule ne suffit pas à modéliser des comportements humains puisque le parcours possible de l'entité est prédéterminé dans un modèle SED (Gunal et Pidd 2010). Afin de modéliser le facteur de discrétion humaine dans un modèle de simulation, le système basé sur les agents est proposé (Dubiel et Tsimhoni). Le modèle de simulation représente directement les flux potentiels dans la SED. Les flux d'information et les décisions du système émergent comme l'instanciation naturelle des comportements et des mécanismes d'interaction en système basé sur les agents. Par exemple, le traitement d'un patient peut nécessiter une série d'interactions et de décision entre les

patients et le personnel qui sont une fonction de l'état du système et la perception des patients et du personnel, et donc difficile à modéliser à priori en utilisant la SED seulement. L'intégration de la SED et des systèmes basés sur les agents est donc nécessaire.

II.6.6.2 Système Basé sur les Agents (SBA)

D'après le dictionnaire Oxford, un comportement est la façon avec laquelle une personne ou un objet répond à une situation particulière. Dans la modélisation du SU, les comportements liés aux patients et au personnel médical peuvent être modélisés pour suivre et évaluer l'évolution du flux des patients afin de réduire le temps d'attente. Les patients, les infirmières et les médecins sont des entités dynamiques et décisionnelles, appelées agents. Par conséquent, un modèle de SBA se compose de trois principales entités: 1) les agents, leurs caractéristiques et leurs comportements; 2) les relations entre les agents, les méthodes et les résultats de négociation et d'interaction et 3) l'environnement des agents ou de l'agent responsable de gérer les coalitions d'agents pour atteindre un objectif précis.

Un SBA utilise des agents intelligents et interactifs pour prendre des décisions (Macal et North 2008). Un agent peut être décrit comme une entité autonome qui prend des décisions basées sur un ensemble de règles (Escudero-Marin et Pidd 2011). L'agent communique également avec d'autres agents dans le système et peut adapter et modifier son comportement en fonction des résultats de ses interactions avec son environnement (Cabrera et al. 2012). Par conséquent, ces entités sont proactives, autonomes et intelligentes dans un modèle de SBA. Des règles de gestion peuvent être créées et appliquées pour la prise de décision (Chan et al. 2010). Les règles de base représentent le propre comportement d'un agent, alors que des règles secondaires peuvent être rajoutées pour modifier les règles de base en fonction des différentes interactions des agents dans le système. Les agents peuvent également apprendre des impacts passés de leurs actions sur leurs environnements.

Les SBA sont utilisés pour modéliser les SU afin d'évaluer la performance des Urgences sous différents paramètres (Lu 2009). L'étude conclut que le nombre de patients pris en charge peut être augmenté d'environ 26 % suite à l'ajustement de tri des patients. Les techniques d'optimisation peuvent être utilisées avec les SBA pour une configuration optimale du personnel du SU. Un autre exemple de SBA est la modélisation de scénarios impliquant la prise de décision humaine considérable (Rahmat et al. 2013). Une stratégie appelée ré-triage a été testée dans laquelle les patients qui ont attendu longtemps dans la salle d'attente sont retriés. Cette recherche a utilisé les SBA pour modéliser les patients avec des attributs dynamiques ainsi que le comportement des infirmières de triage, pour déterminer l'évolution de l'état de santé du patient. Les résultats montrent que la stratégie de ré-triage peut améliorer le temps moyen d'attente aux Urgences.

II.6.6.3 Intégration des SED et des SBA

Il y a quelques obstacles majeurs dans l'application du système à base d'agents pour modéliser les Urgences. L'un de ces obstacles est que le comportement humain est difficile à modéliser.

La collecte de données relatives au comportement humain peut prendre beaucoup de temps. D'autres obstacles, comme le manque de méthodes communes de représentation pour l'implémentation des SBA, sont également mentionnés dans la littérature (Eскурдеро-Marin et Pidd 2011). L'intégration de SED et SBA peut aider à exploiter les avantages des deux méthodes (Dubiel et Tsimhoni 2005). La SED fournit un environnement et des règles de fonctionnement pour les agents. Les environnements des SU peuvent être analysés à l'aide des SED pour l'orientation du flux patients au SU et les SBA pour la prise de décision humaine.

Dans un SBA, le comportement du modèle est produit par les résultats des interactions de l'agent (Eскурдеро-Marin et Pidd 2011 ; Cabrera et al. 2012). En revanche, dans une SED, le comportement du modèle est contrôlé par des mécanismes centraux (Chan et al. 2010). Par exemple, dans un modèle SED, les attributs des patients sont générés à partir de lieu de leur prise en charge et leur mode d'arrivée, le temps de traitement est généré en fonction des attributs des patients à l'aide de l'outil fourni par le logiciel de simulation. Les opérations de soins au SU sont effectuées à partir des conditions prédéfinies et des processus connexes. Dans un modèle SBA, les opérations peuvent être déterminées dynamiquement par des agents en utilisant le processus de prise de décision humaine.

II.6.7 Organisations de soins : Outils et modèles

II.6.7.1 UML en santé

Plusieurs recherches dans le domaine de la santé ont utilisé l'UML pour la modélisation des systèmes hospitaliers. Par exemple, Staccini et al. (2001) se sont basés sur l'UML pour créer une modélisation permettant d'organiser les besoins des utilisateurs par une analyse orientée processus. Vasilakis et al. (2009) ont aussi utilisé différents diagrammes UML pour la modélisation des activités de trois chirurgiens qui exerçant parallèlement trois activités variées. En fin, l'UML a été utilisé par Martin et al. (2011) pour la modélisation du parcours patient dans un SU australien afin d'identifier les goulots d'étranglement engendrant une situation de tension dans le service. Augusto (2008) a relevé dans sa recherche les différents avantages et inconvénients de l'utilisation de l'UML pour modéliser les systèmes de soins. En effet, Il est vrai que l'UML est un langage précis et stable, cependant, sa mise en pratique est risquée puisque les outils dont dispose l'UML sont très variés et leur utilisation est totalement libre. L'UML peut être aussi considéré un support de communication performant et un langage universel souple et simple, mais, pour éviter le risque d'erreur, il doit être spécifié pour être utilisé.

II.6.7.2 L'approche Workflow dans le domaine de la santé

Les SU sont des unités de soins primaires, qui sont généralement l'entrée principale de l'hôpital et un élément clé de l'ensemble du système de soins (WMP Vander et al. 2003). La demande croissante de soins d'urgence, la tension aux SU et les ressources limitées sont des phénomènes partagés par les systèmes de santé à travers le monde (Ovens 2010 ; Salmeron et al. 2011), donnant lieu à un retard dans la première prise en charge des patients. L'Institut

Canadien d'Information sur la Santé (ICIS) a rapporté que les dépenses totales canadiennes de soins a consommé 11,2 % du PIB canadien en 2013⁵. Un problème majeur est que la dépense élevée n'a pas nécessairement conduit à de meilleurs soins. L'ICIS admet que le long délai d'attente dans les SU reste un défi pour le système de santé. Les longues périodes d'attente causent l'insatisfaction des patients et augmentent le nombre d'abandons (Green et al. 2006 ; Ashour et Kremer 2013).

Différentes Stratégies de recherche et d'amélioration ont été proposées pour réduire la tension (Zeng et al. 2012 ; Abo-Hamad et Arisha 2013). Des études précédentes indiquent que les patients des Urgences passent la majorité de leur temps en attente de traitement en raison de l'inadéquation des ressources par rapport aux exigences (Peck et al. 2012). Les stratégies d'amélioration disponibles incluent la modification du plan de travail du SU, les ajustements des ressources humaines et des changements dans les procédures de traitement.

Comme le SUP est un système complexe en raison du flux d'arrivées aléatoires des patients, le temps incertain de prise en charge et le caractère aléatoire de la prise de décision, il est difficile de changer le protocole de soins sans perturber les procédures de fonctionnement normal du SUP (Mahdavi et al. 2013). En s'inspirant du domaine de l'industrie, différents outils et techniques tels que le workflow ont donc été utilisés pour modéliser les flux de patients pour la gestion des systèmes de soins. Ces méthodes ont contribué à l'amélioration de la performance du système de service (Deelman et al. 2009). Le workflow a été utilisé au sein des Urgences pour tester leurs activités et aider les gestionnaires du SU à analyser leur processus de prise en charge adopté et les performances de leur établissement de santé afin de déceler les causes des longs délais d'attente des patients (Komashie et Mousavi 2005 ; Malhotra et al. 2007 ; Essen et al. 2012 ; Rozinat et al. 2009 ; Duckwoong et al. 2010).

II.6.7.3 Complémentarité entre l'optimisation et les SMA en santé

Selon Taboada et al. (2012), il n'y a toujours pas d'outils et modèles standards pour décrire des systèmes complexes et la simulation devient un outil crucial pour les décideurs afin d'anticiper les conséquences d'une situation donnée.

Au cours des dernières décennies, il y a eu des efforts considérables dans le développement de modèles de simulation et d'optimisation pour résoudre divers problèmes liés au fonctionnement des structures du système de santé (gestion des flux, affectation du personnel, allocation des ressources techniques et financières, etc.) (Ahmed et Alkhamis 2009 ; Weng et al. 2011). Les efforts déployés pour améliorer la performance du fonctionnement de ces services sont largement appuyés sur des approches de modélisation et de simulation dans le domaine des technologies de l'information (Hancock et Walter 1979 ; Saunders et al. 1989 ; Jun et al. 1999 ; Brailsford et al. 2004 ; Ahmed et Alkhamis 2009). Dans

⁵ <https://www.cihi.ca/en>

la littérature, nous trouvons des principales approches couramment utilisées en modélisation et simulation dans le domaine de la santé (Fone et al. 2003), comme l'analyse de décision, la chaîne de Markov, la modélisation mathématique, les systèmes dynamiques et les événements discrets (Jun et al. 1999 ; Fone et al. 2003 ; Kanagarajah et al. 2010). Cependant, il est clair que la recherche ne parvient pas à des solutions génériques, durables et globales. En effet, l'inconvénient majeur de ces approches de modélisation est qu'ils ont tendance à négliger l'impact du comportement humain sur la performance des processus de soins (Wang et al. 2006). En outre, les caractéristiques stochastiques dans les différentes étapes du processus de soins ne sont généralement pas pleinement intégrées. En tant que tel, la simulation à base d'agents fournit une perspective complémentaire pour modéliser le processus de soins (Wang et al. 2006 ; Hutzschenreuter et al. 2008). En outre, si nous trouvons une littérature abondante de l'utilisation de ces approches dans les différents domaines de la santé, nous constatons que l'utilisation des SMA est encore à ses commencements même si les systèmes de soins sont plus proches de l'utilisation de cette approche. Il y a un article pertinent qui utilise la modélisation à base d'agents pour simuler le workflow au SU (Wang 2009). Il se concentre sur le triage et le processus de radiologie, mais aucune donnée réelle n'a été utilisée. L'acuité des patients n'est pas considérée et le personnel médical ne prend pas en charge les patients selon la règle FIFO. L'optimisation de la simulation est utilisée pour améliorer le fonctionnement du SU dans (Ruohonen et al. 2006), en utilisant un logiciel de simulation commerciale, et dans (Ahmed et Alkhamis 2009), les auteurs combinent la simulation avec l'optimisation, ce qui implique une fonction objectif stochastique et complexe dans un ensemble déterministe et stochastique de restrictions. En dépit de la variété des méthodes de résolution informatique, des difficultés liées à la résolution de problèmes d'ordonnancement persistent en raison de la complexité combinatoire (Carlier 1989). En outre, compte tenu de la présence continue de l'incertitude dans les SU, les problèmes d'organisation de soins restent difficiles à résoudre. Les aspects incertains apparaissent non seulement dans le processus de demande, mais aussi dans le processus de «soins à fournir» et dans la disponibilité des ressources matérielles et humaines. Les Métaheuristiques se sont révélées être une classe de méthodes approximatives hautement adaptables à un grand nombre de problèmes combinatoires et les problèmes d'affectation sous contraintes. Ces méthodes sont très efficaces pour fournir de bonnes solutions approchées pour des problèmes d'optimisation multi-objectif. Par exemple, une Métaheuristique basée sur un AG a été adoptée pour l'ordonnancement des infirmières dans un hôpital à Lisbonne (Pato et Moz 2007) et la solution proposée a été testée avec succès en utilisant des données réelles. Enfin, une approche multi-objectif évolutionnaire est utilisée pour l'allocation dynamique des ressources dans la pratique de l'hôpital (Trzeciak et Rivers 2003), alors que dans (Rowe et al. 2006) les auteurs ont constaté que les approches basées sur des agents et des techniques classiques d'optimisation se complètent mutuellement.

Comme indiqué ci-dessus, cette proposition répond à de nombreuses questions sur la modélisation et la simulation d'un SU en utilisant le paradigme multi-agent, où l'efficacité des agents dans ce domaine n'a pas été totalement encore explorée. Les règles de base qui

régissent les actions des agents individuels sont définies dans une tentative de comprendre le comportement des micro-niveaux. Le comportement au niveau macro, celui du système dans son ensemble, apparaît comme une conséquence de l'action de ces éléments de base, à partir de laquelle une compréhension des raisons de comportement au niveau du système peut être dérivée (Hoot et Aronsky 2008).

II.6.8 Problèmes d'ordonnancement au SU

Au cours des dernières années, la planification des systèmes de soins a pris beaucoup d'attention au sein de la communauté de recherche opérationnelle. Des recherches antérieures dans ce domaine peuvent être classées en deux groupes principaux: ordonnancement du planning du personnel médical et ordonnancement des patients. L'ordonnancement des patients est reconnu pour avoir un rôle majeur dans la performance du système de soins de santé, en particulier la réduction du temps d'attente des patients et leur prise en charge sans interruption (Petrovic et Leite-Rocha 2008).

Demeester et al. (2010) ont proposé un algorithme de recherche hybride tabou pour minimiser la somme pondérée du coût engendré par l'affectation des patients dans des chambres non privilégiées et le nombre de transferts en tenant compte des besoins médicaux des patients ainsi que leurs préférences. Min et Yih (2010) ont proposé un modèle stochastique de programmation dynamique pour la planification des patients dans un établissement chirurgical avec une capacité limitée, en tenant compte de la priorité des patients. Tai et Williams (2012) ont modélisé l'ordonnancement des patients en tenant compte des différents modes de leurs comportements. Le but du modèle proposé est de minimiser le temps d'attente total des patients et des médecins. Fiegl et Pontow (2009) ont développé un algorithme pour le problème de PDP (Pick-up and Delivery Problem) des tâches dans les hôpitaux afin de minimiser le temps moyen d'écoulement pondéré. Ils ont modélisé le problème en utilisant les méthodes de la théorie des graphes. Alexopoulos et al. (2008) ont modélisé et simulé le flux de patients arrivant à une clinique communautaire. Ils ont utilisé la loi de Poisson pour modéliser les arrivées aléatoires des patients et une distribution de retard non bornée basée sur l'algorithme de Johnson. Chien et al. (2008) ont modélisé le problème de réadaptation de l'ordonnancement du patient comme un ordonnancement d'atelier hybride, et ont développé une approche évolutive basée sur l'AG pour résoudre ce problème. L'objectif est d'augmenter la qualité de service en réduisant le temps d'attente des patients et de maximiser l'utilisation des appareils de thérapie. Petrovic et al. (2011) ont présenté un algorithme d'optimisation multi-objectif pour la planification des traitements de radiothérapie pour les patients atteints de cancer. Les objectifs du modèle proposé sont la réduction du temps d'attente moyen des patients et la minimisation de leur durée de séjour.

Turkcan et al. (2011) ont utilisé une approche basée sur les contraintes pour l'ordonnancement séquentiel de rendez-vous avec des critères de service et d'autres critères tels que l'espérance et la variance du temps d'attente des patients, la longueur de la file d'attente. La mesure proposée est la minimisation de la différence entre le maximum et le

minimum prévu du temps d'attente des patients, et le nombre de patients au début de chaque créneau. Kiris et al. (2010) ont développé un système d'ordonnancement réactif utilisant une base de connaissance des SU, en tenant compte des priorités des patients, les heures d'arrivée, la durée de séjour des patients, et la charge du personnel médical dans le but de déterminer les patients les plus prioritaires et minimiser leurs délais d'attente. Pennathur et al. (2011) ont présenté un modèle de simulation électif de traçabilité de patient du simulateur de système de suivi des patients qui combine un modèle robuste du SU et un système d'affichage du suivi patient.

Adan et al. (2011) ont mis au point une procédure de planification en deux étapes pour l'ordonnancement des patients urgents et non urgents en tenant compte de la demande stochastique et la capacité des ressources. Ils ont appliqué une approche de programmation par but pour minimiser les écarts de la consommation des ressources par rapport aux niveaux d'utilisation des ressources cibles afin d'obtenir un plan tactique. Lu et al. (2012) ont proposé un mécanisme de processus de traitement clinique adaptatif grâce à des recommandations, qui déterminent les plans de traitement appropriés pour des patients particuliers. Chaque plan de traitement est indexé par un ensemble de caractéristiques importantes de patients. Dans d'autres travaux comme ceux de Meyer et al. (2012), l'importance d'utiliser un système de gestion efficace des données est souligné, et dans ce but, un modèle de données complexe est développé et mis en œuvre en utilisant la base de données Oracle afin d'intégrer différents types de données relatives. Demir et al. (2012) se sont intéressés aux processus de réadmission aux Urgences, et en utilisant une approche multi-modèle à plusieurs niveaux de transition, les hôpitaux sont profilés selon les réadmissions de leurs patients aux Urgences.

Certaines études ont été consacrées à l'ordonnancement à contraintes des ressources dans le contexte de la logistique hospitalière. Chern et al. (2008) ont étudié le problème d'ordonnancement d'examen de santé en tenant compte des limitations telles que le séquençement et la continuité de la procédure d'examen médical. Ils ont développé un algorithme heuristique efficace pour résoudre le problème avec l'objectif de minimiser le temps d'attente des patients et des médecins. Liu et al. (2011) ont proposé un algorithme heuristique pour résoudre un problème d'ordonnancement des salles d'opération avec l'objectif de maximiser l'utilisation des salles d'opération et de minimiser le coût des heures supplémentaires. Aickelin et al. (2004) ont développé un AG pour résoudre un problème d'ordonnancement des infirmières en utilisant un codage indirect des chromosomes fondé sur les permutations des infirmières. Fei et al. (2009) ont développé un modèle de programmation paramétrée pour la conception d'un planning hebdomadaire de chirurgie dans une salle d'opération, où les salles d'opération et les salles de réveil sont supposées être multifonctionnelles. Le modèle proposé minimise l'utilisation des salles d'opération, le coût des heures supplémentaires dans la salle d'opération, et le temps d'inactivité inattendue entre les interventions chirurgicales.

Vermeulen et al. (2009) ont proposé une approche adaptative pour répartir la capacité des ressources à des groupes de patients et de trouver les disponibilités optimales des ressources. Topaloglu et Ozkarahan (2011) ont développé un modèle de programmation en nombres entiers pour gérer les lieux et les heures d'affectation des médecins en tenant compte des gardes, les jours de congé, la période de repos, et la charge totale du travail. Pham et Klinkert (2008) ont mis au point une nouvelle approche de planification par étude de cas chirurgicale en utilisant une extension du problème d'ordonnancement d'atelier pour l'allocation des ressources de l'hôpital et de décider sur la date pour effectuer les chirurgies. Gutjahr et Rauner (2007) ont proposé une approche d'optimisation de colonie de fourmis appliquée au problème de la planification des infirmières considérant une série de contraintes relatives à la date, la durée et les modes de travail, les qualifications des infirmières, les préférences du personnel médical ainsi que les coûts. Fei et al. (2009) ont proposé un modèle de planification tactique par une procédure heuristique basée la génération de colonne pour un centre d'endoscopie composé de deux salles d'opération spécialisées pendant une semaine, avec l'objectif de minimiser le taux d'utilisation de la salle d'opération et le coût des heures supplémentaires.

Topaloglu (2006) a présenté un modèle de programmation par but qui tient compte des contraintes dures et souples sur un horizon de planification mensuelle afin de réduire l'impact négatif sur le personnel médical, physiologiquement, psychologiquement et socialement. Cabreraa et al. (2011) ont mis au point une modélisation et une simulation à base d'agents pour concevoir un système d'aide à la décision pour le fonctionnement des SU. Yang et al. (2009) ont analysé le modèle de prévision de la demande des patients dans les SU en utilisant l'extraction de données, la classification et un arbre de décision. Ils ont développé un modèle de prévision pour l'envoi du personnel médical dans les différents départements. Yeh et Lin (2007) ont proposé un modèle de simulation pour couvrir le flux des patients au SU et ont appliqué un AG pour trouver un planning des infirmières quasi optimal avec l'objectif de minimiser le temps d'attente des patients.

Table II-1 : Résumé des travaux de recherches sur l'ordonnancement des patients

Travail de recherche	Environnement					Approche		
	Laboratoire	Salle d'opération	SU	Clinique	Autres services de soins	Métaheuristiques	Simulation	Autres méthodes
(Adan et al. 2011)		✓	✓	✓			✓	
(Alexopoulos et al. 2008)				✓			✓	
(Chien et al. 2008)					✓	✓		
(Fiegl et Pontow 2009)					✓			✓
(Kiris et al. 2010)			✓				✓	

(Min et Yih 2010)		✓					✓	
(Pennatur et al. 2011)			✓				✓	
(Petrovic et Leite-Rocha 2008)				✓		✓		
(Tai et Williams 2012)				✓			✓	
(Turkcan et al. 2011)	✓			✓				✓

La Table II-1 présente un résumé de la recherche la plus connexe sur l'ordonnancement du patient disponible dans la littérature.

Comme mentionné précédemment, la nature du problème d'ordonnancement des patients dans les SU est considérablement similaire aux problèmes d'ordonnancement d'atelier (aucun ordre prédéterminé pour faire des opérations de soins sur les patients). Formuler le problème d'ordonnancement des patients comme un problème d'ordonnancement généralisé de type Job-Shop flexible permet d'utiliser des méthodes bien connues qui ont été appliquées avec succès pour résoudre les problèmes d'ordonnancement d'atelier. Cependant, à notre connaissance, cette approche n'a pas été appliquée dans le contexte d'ordonnancement des patients dans les SU. En outre, le problème d'ordonnancement de type Job-Shop flexible n'a pas été étudié en profondeur même dans les systèmes de production manufacturière, ce qui lui donne un intérêt théorique et pratique.

II.7 Positionnement

En résumé, bien que d'importants travaux aient paru dans la littérature pour l'amélioration du SU, la plupart des travaux n'ont pas utilisé une stratégie qui lie les mesures de performance et les actions (Abo-Hamad et Arisha 2013). Beaucoup de projets d'amélioration dans les Urgences sont basés sur les expériences et les principes intuitifs sans une prédiction quantitative de l'impact pour l'amélioration (Wang et al. 2012). La plupart des recherches considère séparément les activités de service comme le modèle d'arrivée du patient et la non-présentation au rendez-vous, plutôt que de processus opérationnels. De nombreux rapports ont des difficultés à cerner la variabilité des processus de services de soins (Mahdavi et al. 2013). Cette variabilité est due aux arrivées aléatoires des patients au SUP et la complexité de la prise en charge qui est imprévisible ce qui entraîne des situations de tension. En cas de tension, le personnel médical devient incapable de gérer le flux des malades. De nouvelles mesures sont prises en compte pour une meilleure prise en charge des patients. Toutefois, en période de forte affluence, les moyens simples mis en place à ce jour sont insuffisants pour assurer un fonctionnement optimal des SU.

Actuellement, dans les organisations de soins il y a un manque de communication entre les différents acteurs des hôpitaux, et en particulier dans les SU. L'information sur les patients (dossier patient) n'est pas échangée en temps réel entre les différents membres du personnel

médical, parfois, arrive en retard ou est oubliée. Par exemple, les médecins oublient parfois d'informer leurs collègues de maladie chronique d'un patient alors que cette information est très importante pour l'administration de nouveaux médicaments. Pour cette raison, nous proposons d'utiliser les SMA comme une approche adéquate pour assurer la communication, la coordination et la négociation entre les acteurs du personnel médical, pour améliorer la qualité des soins prodigués aux patients et garantir leur sécurité (Shen et al. 2015). Il existe deux catégories d'agents intelligents: agents « statiques » et les agents « mobiles ».

Pour modéliser les activités des membres du personnel médical et leurs comportements, les agents mobiles représentent le modèle le plus approprié. En effet, ces agents mobiles peuvent modéliser et simuler le comportement des membres du personnel médical qui peuvent se déplacer d'une équipe médicale à l'autre pour traiter des patients différents selon leurs compétences et leurs disponibilités.

La technologie agent permet de mieux analyser et caractériser le fonctionnement des SU qui est un système complexe. La modélisation à base d'agents est capable de modéliser explicitement la complexité résultant des interactions entre les membres du personnel médical et traduire ce qui se passe réellement sur le terrain.

Les Métaheuristiques assurent l'optimisation multi-objectif et fournissent une bonne solution prête à être exploitée dans les SU. Cette solution qui concerne le parcours patient doit être exécutée par le personnel médical. Hors, si l'interaction et l'échange d'information ne se passent pas correctement, des erreurs sont générées et la solution n'est plus optimale ni exploitable. L'alliance entre les SMA et les méthaheuristiques (Ben Othman et al. 2014-a) représente donc une idée très originale pour faire de l'optimisation collaborative qui est un concept crucial au milieu hospitalier. Cette alliance n'est possible que lorsqu'on modélise le plus fidèlement possible tout ce qui se passe au SUP, le terrain d'expérimentation de notre projet HOST, et en ce qui nous concerne le parcours patient dans le SUP. Ce modèle est le Workflow collaboratif qui sera détaillé dans le chapitre III.

Le choix méthodologique qui va être détaillé dans la suite de ce mémoire englobe les SMA, les méthodes d'optimisations et le Workflow.

II.8 Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en évidence que les établissements et organisations du domaine de la santé sont confrontées à des problématiques de restructuration, de modélisation et d'optimisation de leurs infrastructures et de leurs organisations. Le chapitre III détaille une modélisation par le Workflow du SUP (le terrain d'étude de notre projet HOST) qui permet d'identifier des dysfonctionnements du SUP. Les simulations réalisées vont nous montrer que ces dysfonctionnements sont dus en partie à une organisation mal adaptée aux contraintes et à l'évolution de missions du personnel médicale ainsi qu'à une mauvaise gestion des flux patients. Ainsi, le chapitre IV qui expliquera en détails notre approche de résolution en combinant l'optimisation et les SMA afin d'améliorer cette organisation et alimenter les

systèmes d'informations. Plus généralement, les chapitres III, IV et V contribueront à la mise en place des systèmes collaboratifs d'aide à la décision dans les systèmes de production de soins et de santé qui sont devenus maintenant incontournables.

CHAPITRE III. Workflow collaboratif au service de la modélisation du parcours patient au SUP

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous établissons tout d'abord quelques définitions permettant de caractériser et de classer les différents types de workflow. Nous examinons ensuite les modes de fonctionnement du SUP du CHRU de Lille. Une modélisation du parcours patient par le workflow sera établie dans le SUP. Il s'agit en particulier d'étudier les contraintes qu'un contexte SUP impose aux modèles de gestion de workflows. Enfin, dans la dernière partie, nous présentons l'intérêt d'une modélisation multi-agent pour l'ordonnancement et l'orchestration du workflow proposé. Compte tenu de l'intérêt que les SMA représentent pour la gestion du workflow, nous en présentons une étude détaillée dans le chapitre IV.

III.2 Définition du workflow

Plusieurs définitions de l'approche workflow ont été proposées dans la littérature. Parmi ces définitions nous pouvons citer celle présentée dans (Hales 1991): « Le management d'un workflow est réalisé par un système proactif pour la gestion d'une série de tâches qui sont transmises aux participants appropriés dans le bon ordre et qui sont complétées dans des temps donnés...».

Cette définition souligne les principaux termes :

- Un système proactif qui génère des fins et les satisfait et dont le comportement est conditionné par des considérations de l'intérieur du système en plus des événements extérieurs (Boissier 1999).
- Les participants adéquats appelés par les acteurs ou les ressources. Ces participants peuvent être des entités logicielles ou des personnes.
- L'ordre des tâches qui sont généralement liées par des contraintes de précédence.

Pour gérer un workflow, il faut passer par deux étapes : la génération des processus ; et le contrôle et la mise en œuvre des processus. La Figure III-1 décrit le rapport entre ces deux étapes.

Suite à la phase d'analyse fonctionnelle, une conception préliminaire est établie par un workflow. Pour concevoir un schéma de workflow il existe plusieurs méthodes et outils graphiques afin de vérifier la validité du modèle (Mühlen et Zhao 2002).

La phase d'exécution est basée sur la création de plusieurs instances du schéma de workflow exécutées en utilisant les données et les ressources adéquates (Stormer 2003). Un ensemble des variables et paramètres sont nécessaires à l'exécution de chaque instance. Cet ensemble permet de déterminer quelles tâches ont été effectuées et avec quel résultat (Kamath 1998).

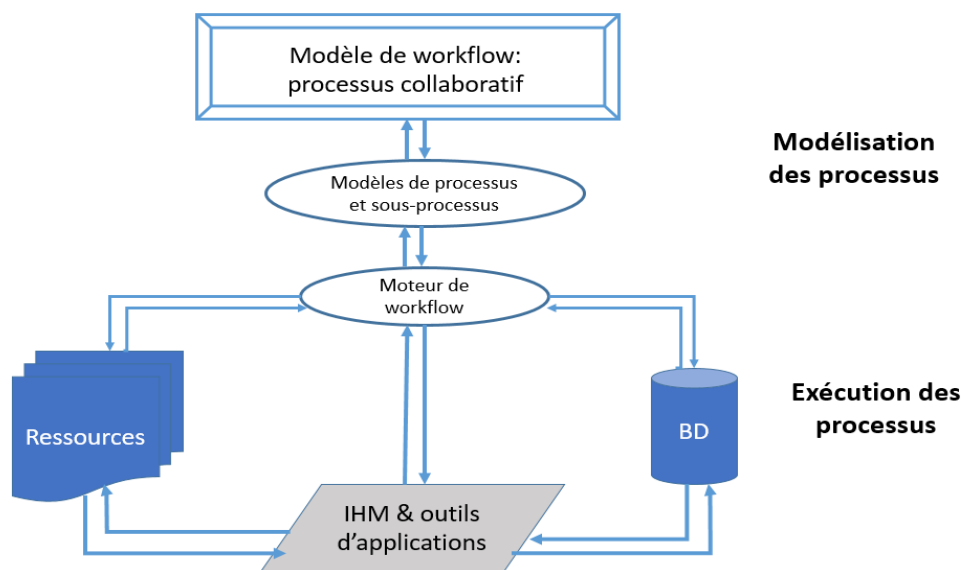


Figure III-1 : Les différentes phases de gestion du Workflow

Le moteur workflow permet de réaliser la phase d'exécution. Cette dernière consiste à utiliser des applications informatiques, des IHM et des ressources disponibles pour coordonner l'exécution des processus et des activités. Les processus sont acheminés d'un poste informatique à un autre, à chaque fois qu'une phase du processus est achevée (Zheng et al. 2010).

III.3 Pourquoi une approche workflow en santé ?

Depuis quelques années, les établissements de santé sont entrés dans l'ère de la collaboration informatisée, et pour rester compétitifs, ils doivent constamment améliorer leur qualité de service. L'accessibilité à un volume croissant de données et l'intégration des logiciels informatiques variés créent de nouvelles exigences par rapport aux outils de gestion de la collaboration, aussi bien au sein de l'hôpital que dans le cadre d'une coopération inter-hôpital.

Le workflow en santé est une approche permettant de modéliser et de gérer des activités médicales ou administratives dans un établissement de santé, impliquant plusieurs acteurs, documents et tâches. Il consiste en des modèles de travail permettant de coordonner les activités de chaque personnel médical et d'assurer leur parfaite interconnexion en s'appuyant sur les systèmes d'informations et des bases de données existantes.

Au-delà des bénéfices qui peuvent être tirés de la mise en œuvre d'un système de gestion de workflow en santé, la restructuration de l'hôpital en vue de son adaptation à l'informatisation peut améliorer un nombre de points clés de sa performance :

- L'efficacité : La modélisation du parcours patient dans l'hôpital élimine souvent des tâches médicales inutiles.

- Le contrôle : Une meilleure gestion des processus médicaux est obtenue par des outils de collaboration standardisés et donc par la disponibilité de traces pour l'audit.
- Un meilleur parcours patient : Rendre les processus cohérents apporte un gain de qualité de service.
- Amélioration des processus de travail : Une vue orientée « flux » apporte une simplification des processus par rapport à une vue centrée sur les rôles.

Une approche workflow en santé apporte les avantages suivants :

- La flexibilité : Un contrôle par workflow des processus médicaux permet leur modification dynamique, lorsque les protocoles médicaux changent.
- L'optimisation : Des solutions optimales, par exemple pour l'organisation des tâches, peuvent être calculées algorithmiquement et mathématiquement, ce qui permet d'améliorer les performances par rapport aux solutions informelles.
- La sécurité : Les droits d'accès sont définis à l'avance de manière stricte.

Grâce à ces avantages, l'utilisation du workflow pour la gestion des processus médicaux au sein d'un établissement de santé est aujourd'hui largement acceptée. L'évolution des établissements de santé va clairement vers un niveau d'intégration informatique de plus en plus élevé, pour tout ce qui concerne les processus inter-organisationnels, tels que la sous-traitance, la gestion de la chaîne logistique hospitalière ou encore la coopération inter-hôpital.

III.4 Description d'un schéma type de workflow

Les activités dans un schéma classique de workflow sont liées par des transitions entre plusieurs processus différents d'une instance donnée. Il existe différents types de conditions et d'acheminement associés à ces transitions :

- Jonction : Plusieurs fils de contrôle qui convergent ;
- Itération : Une même séquence de processus est répétée ;
- Précondition booléenne : Le critère de départ d'un ensemble de processus ;
- Post-condition booléenne: Le critère permet l'arrêt d'une séquence de processus ;
- Acheminement parallèle : Plusieurs processus peuvent être exécutés d'une manière parallèle ;
- Acheminement séquentiel : Les processus sont exécutés d'une manière séquentielle ;
- Branchement multiple : Découpage d'un fil de contrôle en plusieurs fils parallèles ;
- Rendez-vous : Point de rencontre entre plusieurs fils de contrôle ;
- Branchement conditionnel : Permet d'aiguiller plusieurs activités pour l'exécution d'un fil de contrôle ;
- Transition : Passage d'un processus à un autre suite à la vérification des conditions.

III.5 Les workflows collaboratifs en santé

Ce type de workflow est parfaitement adapté à la modélisation en santé. En effet dans le workflow collaboratif l'optimisation de l'exécution d'une instance de workflow est moins importante que la capacité de réagir de manière flexible aux modifications imprévues ; et les processus médicaux sont définis de manière informelle. Le personnel médical peut intervenir à tout instant dans la décision du cheminement du processus.

Une approche workflow collaboratif en santé doit permettre au personnel médical ou aux équipes de coopérer afin d'atteindre un objectif commun.

L'exécution d'un processus dans le cas d'un workflow collaboratif se décompose en quatre étapes :

- La négociation (Y a-t-il une ressource humaine ou matérielle disponible ?),
- L'accord (Oui, la ressource est disponible),
- L'allocation (La ressource est utilisée pour l'exécution d'une tâche du processus),
- La vérification (La tâche a-t-elle été correctement exécutée ?).

III.6 Concepts d'Interopérabilité pour les workflows collaboratifs en santé

L'exécution d'un workflow collaboratif implique l'intervention de plusieurs acteurs pour son contrôle et sa gestion. Cette exécution peut être répartie de plusieurs manières :

- Le partage de capacités : Les tâches médicales sont allouées au personnel médical selon des règles définies, par un protocole médical global. L'exécution des tâches peut s'effectuer de manière distribuée entre plusieurs équipes.
- L'exécution en chaîne : Le workflow est découpé en plusieurs parties, qui sont exécutées séquentiellement par les différentes équipes médicales. Dès qu'une équipe a fini sa partie, elle cède le contrôle à l'équipe suivante. Contrairement aux systèmes utilisant le partage de capacités, l'exécution et le contrôle sont ainsi distribués.
- L'exécution hiérarchique : La gestion du workflow est distribuée de façon hiérarchique entre les acteurs. Par exemple un médecin cède le contrôle d'une partie de son workflow à l'infirmière. Celle-ci exécute les tâches qui la concernent et rend le contrôle au médecin après avoir fini l'exécution.
- Le transfert d'exécution de workflow : Chacun des acteurs possède une copie du schéma complet du workflow. Seules les instances du workflow sont transférées entre les acteurs, afin d'équilibrer le partage de charges ou parce qu'une tâche doit être exécutée par un personnel médical qui a la compétence requise (Figure III-2).

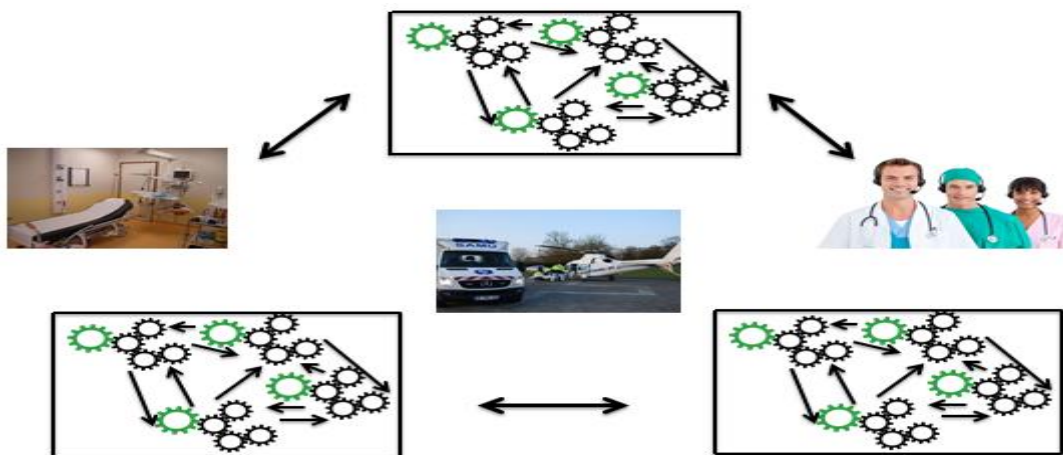


Figure III-2 : Transfert d'instances de Workflow

- L'exécution distribuée : Des parties d'un schéma workflow sont distribuées entre les acteurs médicaux et peuvent être actives en parallèle. Les acteurs ne connaissent pas toujours le schéma et l'état des instances de workflow de leurs partenaires. La communication entre les instances se fait selon un protocole commun (Figure III-3).

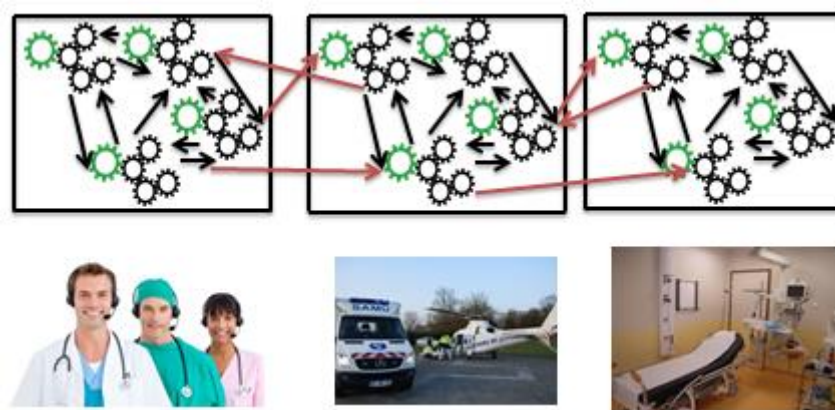


Figure III-3 : Exécution distribuée du workflow

Les workflows collaboratifs sont facilement interopérables en santé et ils sont donc les plus adaptés pour modéliser le parcours patients dans le SUP aussi bien en mode de fonctionnement normal qu'en mode tension.

III.7 Description du parcours patient dans le SUP du CHRU de Lille

Le parcours d'un patient au sein du SUP peut avoir 2 types d'entrées différentes :

- Les *Urgences* : c'est par cette entrée qu'entre la grande majorité des patients, qu'ils soient venus par leurs propres moyens (parents, famille, etc.) ou alors par le biais d'une ambulance qui n'aurait pas prévenu l'hôpital de son arrivée. Cette entrée est commune à toutes les personnes entrant au CHRU par les *Urgences*, enfants comme adultes. Les parents ou autres proches de l'enfant doivent suivre le parcours administratif

d'admission à l'hôpital avant d'être redirigés vers le SUP.

- Le *SAMU* : l'arrivée du patient se fait directement dans l'espace d'arrivée des ambulances, le patient est immédiatement redirigé vers le SUP, alors qu'un proche sera renvoyé vers la partie administrative afin de compléter le dossier d'admission à l'hôpital.

A son arrivée dans le SUP, si le patient est entré par les Urgences, il subit un premier diagnostic, établi par une infirmière, qui permet de définir un ordre de priorité ou ordre de passage des patients qui entrent dans le service. Cet ordre de priorité des patients repose notamment sur une échelle de 5 niveaux d'Urgences, permettant de traiter très rapidement, voire immédiatement, les cas les plus graves. Ces niveaux d'urgence sont représentés par la CCMU (Classification Clinique des Malades aux Urgences) composée des classes suivantes :

- **CCMU P** : Patient présentant/souffrant d'un problème psychologique et/ou psychiatrique dominant en l'absence de toute pathologie somatique instable associée.
- **CCMU 1** : État clinique jugé stable. Abstention d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique i.e. examen clinique simple (exemple : angine, malaise vagal non symptomatique, plaie sans suture, otite, etc.).
- **CCMU 2** : État lésionnel et/ou pronostic fonctionnel stable. Décision d'acte complémentaire diagnostique (prise de sang, radiographie conventionnelle) ou thérapeutique (suture, réduction) à réaliser par le SMUR ou un SU (exemple : hypotension, entorse, plaie simple à suturer, fracture fermée, etc.).
- **CCMU 3** : État lésionnel et/ou pronostic fonctionnel jugé pouvant s'aggraver aux Urgences ou durant l'intervention SMUR, sans mise en jeu du pronostic vital (exemple : Malaise mal étiqueté, angor, douleur thoracique, respiratoire ou circulatoire, AVC, fracture ouverte, etc.).
- **CCMU 4** : Situation pathologique engageant le pronostic vital sans gestes de réanimation immédiats.
- **CCMU 5** : Pronostic vital engagé. Prise en charge comportant la pratique immédiate de manœuvres de réanimation.
- **CCMU D** : Patient déjà décédé à l'arrivée du SMUR ou du SU. Pas de réanimation entreprise.

A l'issue d'une période d'attente plus ou moins importante en fonction de l'état d'encombrement du service et de l'urgence du cas, le patient est enfin pris en charge par un médecin. Ce processus complet est repris et synthétisé dans le schéma ci-dessous :

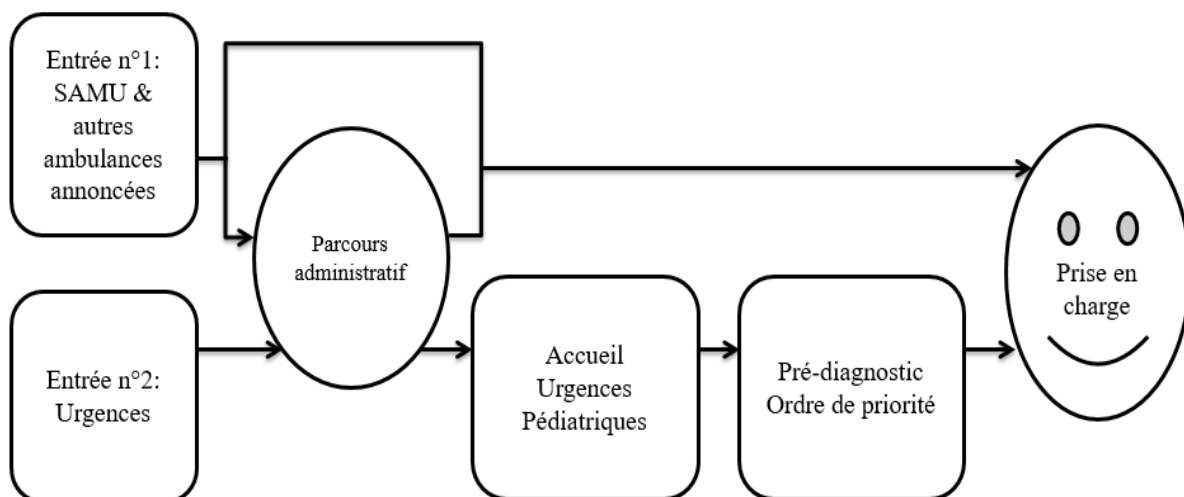


Figure III-4 : Parcours patient

Suite au diagnostic médical établi par le médecin, ce dernier peut choisir, en fonction de l'état médical du patient ainsi que des infrastructures disponibles, de laisser le patient rentrer chez lui ou de le garder en observation, voire de l'hospitaliser. Durant sa durée d'observation, le patient est presque contraint de rester en hospitalisation courte au sein du SUP du fait du manque de structures d'aval permettant de l'accueillir.

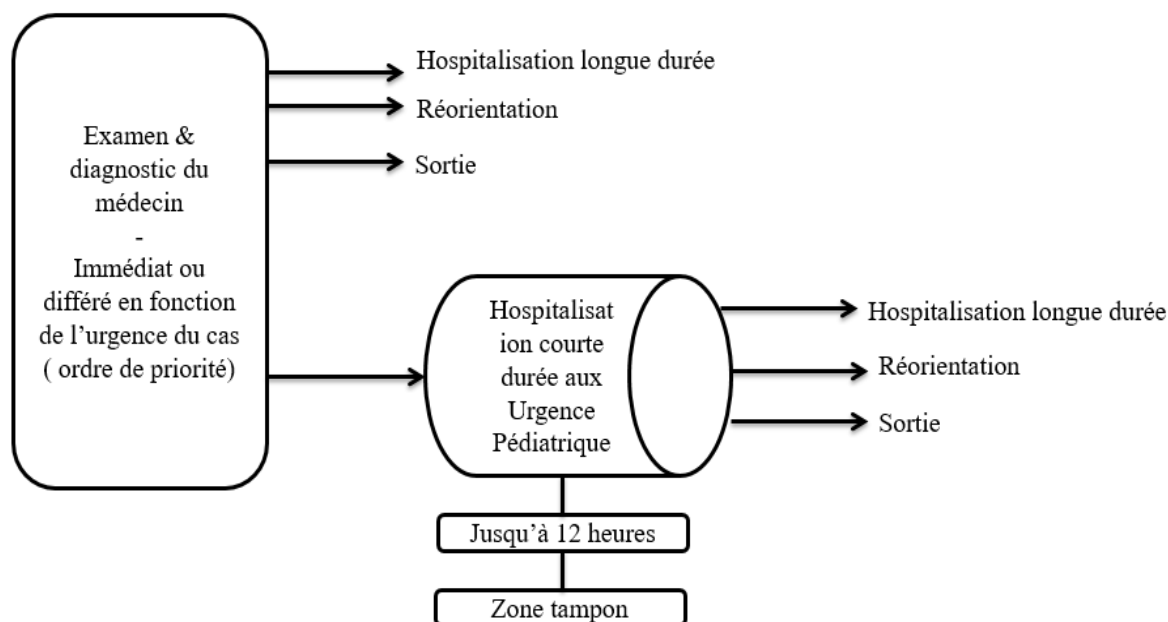


Figure III-5 : Schéma des possibles orientations d'un patient suite à son diagnostic médical

En effet, il n'y a pas de lits d'aval en surveillance continue à l'hôpital de Lille. De surcroît, il n'existe pas de centralisation des alarmes des patients. De même, si le médecin décide

d'hospitaliser le patient pour une durée plus longue que 12 heures qui est la durée maximale d'hospitalisation courte, il est souvent contraint de garder ce patient au sein du SUP en attendant qu'une structure d'accueil en aval se libère. Enfin, les réorientations de patients vers des structures hospitalières moins chargées, si tant est que cela existe, sont très rares du fait du manque résistant de communication qui existe aujourd'hui entre les hôpitaux, et donc de l'impossibilité de connaître l'état d'encombrement de ses structures. Ce processus est entièrement synthétisé dans le schéma ci-dessous.

Le flux de patients entrant dans le service est totalement aléatoire. Cependant, les chiffres moyens sont suffisamment cycliques et redondants pour que l'on puisse générer un modèle de flux entrant, et ce à plusieurs échelles temporelles : en fonction de la période de l'année, de la période de la journée, de certains événements particuliers, etc.

- Les Chiffres Clés :

5.5	Le nombre moyen de changements de place pour un patient entrant aux Urgences Pédiatriques du CHRU de Lille
24000	Le nombre annuel moyen de patients entrant aux Urgences Pédiatriques du CHRU de Lille
4h13min	Le temps de passage moyen d'un patient entrant aux Urgences Pédiatriques du CHRU de Lille

III.7 Infrastructures du SUP

II.7.1 Etat des lieux

Le SUP du CHRU de Lille s'étale sur une surface de 450m² au sein de l'hôpital Jeanne-de-Flandres. Si cela peut paraître petit, il est à noter tout de même la présence de 2 autres structures équivalentes dans l'agglomération Lilloise : l'une au sein de l'hôpital Saint-Vincent, et l'autre au sein du Centre Hospitalier de Tourcoing. Ainsi, la structure du CHRU de Lille reste modeste en admissions par an. Toutefois, les SUP sont de plus en plus à l'étroit dans leurs locaux, et ce malgré l'agencement plutôt bien pensé du service, ce qui implique en outre la polyvalence du personnel.

Le SUP comprend :

- 1 espace d'accueil,
- 10 box avec lits simples ou doubles,
- 1 salle de plâtre et 1 salle de sutures (peuvent servir également de box),
- 1 SAUV (Salle d'Accueil Urgences Vitales), c'est-à-dire une salle de surveillance pour les patients dont l'état demande une grande vigilance (doit être libérée le plus rapidement possible),
- 1 salle d'attente (dans le couloir).

L'Agencement du service peut se représenter schématiquement sous la forme suivante (Figure III-6) :

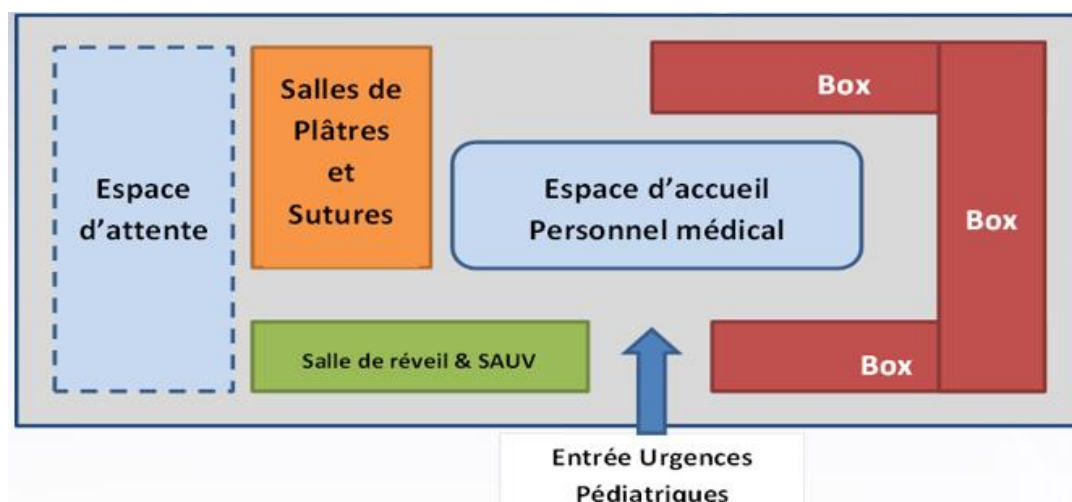


Figure III-6 : Architecture physique du SUP

Le SUP du CHRU de Lille peut également compter sur des structures d'aval au sein même de l'hôpital Jeanne-de-Flandres, qui accueille le reste du service pédiatrique. Le SUP a ainsi à sa disposition environ 170 lits d'aval. En outre, l'hôpital est équipé de 3 blocs opératoires répartis comme suit :

- 1 bloc « Traumatologie »,
- 1 bloc « Chirurgie Cardiaque »,
- 1 bloc « Neurochirurgie ».

II.7.2 Gestion du SUP

Malheureusement, dans la situation actuelle des choses, il n'y a pas de système fiable permettant de gérer efficacement les places disponibles, que ce soit pour les box du service, ou bien les lits au sein des structures d'aval. Il y a en plus le problème des lits « faussement libres », c'est-à-dire les lits qui sont soit réservés, soit inutilisables du fait de la présence d'un malade contagieux dans la même pièce, ou du fait que la chambre n'a pas encore été nettoyée après le passage d'un patient. Nous pouvons également ajouter à cela le fait qu'il n'existe pas d'alarmes centralisées, ni de salles de surveillance pour les patients devant être placés en observation (UHCD).

II.7.3 Effectifs

L'équipe médicale du SUP se compose comme suit :

- 2 pédiatres de soins (médecins spécialistes),
- 1 interne en médecine générale,
- 2 internes de pédiatrie,
- 1 interne en chirurgie,

- 2 à 3 Infirmières Diplômées d'Etat (IDE) dont la répartition est la suivante : 2 le matin, 3 l'après-midi, 2 la nuit (dont une à l'accueil),
- 2 auxiliaires de puériculture.

Cet effectif est suffisant dans 90 % des cas, c'est-à-dire lorsque le service fonctionne en activité normale. En revanche, il devient en surcharge de travail lors des pics d'affluence. Ce problème ne peut pas être résolu en augmentant les effectifs lors de ces périodes de travail intense pour des raisons juridiques et syndicales. En effet, les infirmières exerçant à l'hôpital ne peuvent pas être en intérim et travailler régulièrement tous les soirs entre 18 h 00 et minuit (l'une des périodes les plus difficiles).

III.8 Workflow collaboratif pour modéliser le parcours patient en régime permanent

Le « Workflow » est la représentation d'une suite de tâches ou d'opérations effectuées par une personne, un groupe de personnes ou un organisme en un temps limité. Ces tâches sont articulées autour d'une procédure définie et ont généralement un objectif global commun. Plus précisément, le terme « flow » renvoie au passage d'un produit, d'un document, ou d'une information, d'une étape à une autre. On distingue donc plusieurs aspects au sein de la notion du workflow collaboratif. En effet, cette approche permet de représenter les interactions entre les tâches sous forme d'échange d'information entre les divers acteurs en fournissant à chacun les informations nécessaires pour la réalisation de ses tâches. Elle décrit ainsi les circuits et les modes de validation ainsi que les délais à respecter, de chaque tâche pour chaque processus. De plus, la notion de « Workflow » est basée sur le BPMN qui présente une notation graphique standardisée pour modéliser des processus métier. Le but principal de BPMN est de fournir une notion de modélisation qui soit réellement compréhensible par tous les utilisateurs de ce service.

Pour pouvoir valider la modélisation fournie par un « Workflow », la simulation et l'analyse des résultats sont extrêmement importantes afin de mettre le modèle en service. La modélisation du parcours patient représente un moyen pertinent pour une gestion des flux matériels ainsi que des flux patients. Cela permet par la suite de garantir une prise en charge rapide et qualitative du patient tout en planifiant les ressources matérielles et humaines du système hospitalier. Cette étape permet de formaliser le fonctionnement précis du SUP, d'automatiser plus facilement certains flux et d'identifier par conséquent les zones d'optimisation. La modélisation des processus permet également d'obtenir des représentations graphiques, de faciliter la compréhension des processus, d'identifier les différents acteurs impliqués et leurs rôles et d'assurer le partage d'informations.

II.8.1 Fonctionnalités générales du SUP

La modélisation proposée présente l'organisation d'un « SUP » dans son fonctionnement ordinaire. Cette organisation prend en charge les enfants et les adolescents relevant d'Urgences médicales et chirurgicales. Selon leurs états et les pathologies présentées, ils

seront dirigés vers l'unité de soin appropriée pour être correctement soignés. Les études et les consultations réalisées avec des experts médicaux nous ont menés à définir des parcours-type spécifiques reliés à un type de pathologie bien défini et à un état bien concret.

Tout en tenant compte des petites variations, on peut considérer que les parcours-type sont représentatifs dans ce mode de fonctionnement du service. Ces études ont révélé 5 grandes catégories de soins existant au sein de cette structure:

- les consultations dans les box : Les pédiatres reçoivent des consultations programmées dans le cadre de suivis spécifiques (maladies chroniques, post-hospitalisation, anciens prématurés, etc.) et non programmées selon les spécialités adressées par les médecins.
- l'hospitalisation courte durée : Elle permet d'accueillir toutes les urgences chirurgicales de l'enfant sous la responsabilité conjointe d'un pédiatre et d'un médecin urgentiste.
- les soins externes y compris les sutures et les plâtres.
- l'hospitalisation traditionnelle : Elle permet de prendre en charge les enfants souffrant de maladies aiguës ou chroniques, de traumatismes, d'intoxications, de difficultés psychologiques, d'handicap, etc. Ils sont suivis par une équipe spécialisée et dans un cadre et des conditions d'accueil et de prise en charge spécifiquement adaptés à l'enfant.
- les opérations des Urgences vitales, réalisées dans un bloc opératoire.

II.8.2 Modélisation des processus

Afin de construire un schéma complet et conforme à la réalité, il est primordial de schématiser le parcours d'un patient dès son arrivée dans la structure jusqu'à la fin de son traitement. Cependant pour obtenir une image fiable du temps d'attente, et travailler ensuite à sa limitation, il est nécessaire d'avoir une vision plus large, plus globale du parcours patient, qui pourrait contenir des processus en amont de l'admission aux Urgences. Ces processus sont susceptibles d'influencer ensuite la prise en charge, et donc de générer de l'attente dans le service. De ce fait, nous sommes dans l'obligation de tenir compte de toutes démarches administratives telles que l'enregistrement du patient et ses orientations puisqu'elles influencent directement le parcours du patient.

II.8.3 Processus global

Le schéma ci-dessous présente la modélisation du SUP en régime permanent. Il est composé de 4 processus :

- Un processus principal qui décrit d'une manière globale le parcours du patient au sein du service.
- Trois sous-processus qui détaillent le fonctionnement au sein des unités : hospitalisation à courte durée (UHCD), les soins externes et les Urgences vitales.

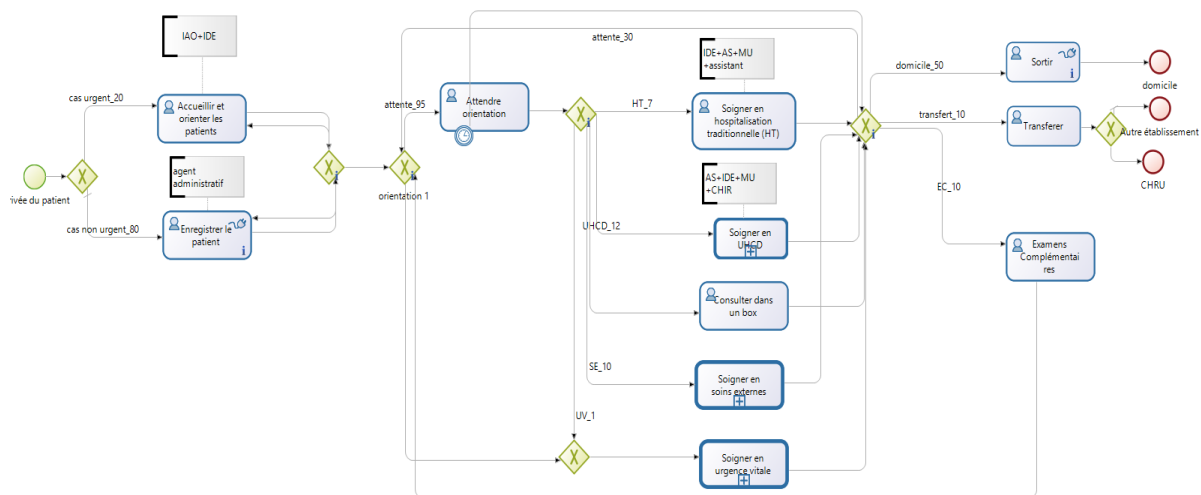


Figure III-7 : Modélisation du processus SUP

II.8.4 Les sous-processus

Le processus global, décrivant le parcours du patient depuis son entrée à l'hôpital jusqu'à sa sortie, donne une image du fonctionnement du service, mais pour être plus précis il a été complété par des sous-processus. En effet, cela permet de détailler une tâche sans trop alourdir le schéma général. Par exemple, l'UHCD peut engendrer un nombre plus élevé d'exams et de vérifications qu'une simple consultation dans un box sans équipement spécial. Les transitions propres à ce type de soins surchargeraient le schéma si elles apparaissaient sur le processus final, ne facilitant la compréhension ni de ce dernier, ni de la tâche « UHCD ». Nous avons donc créé un sous-processus spécifique : lorsque le patient arrive à cette étape, il est envoyé vers l'entrée du sous-processus, et lorsqu'il arrive à la fin il est réinjecté dans le processus principal.

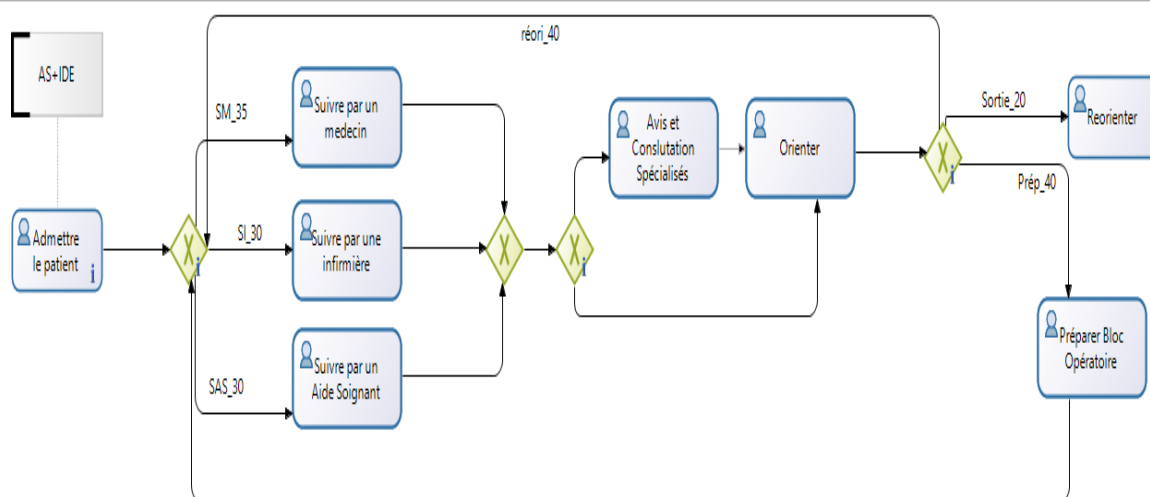


Figure III-8 : Modélisation du processus SUP (sous-processus UHCD)

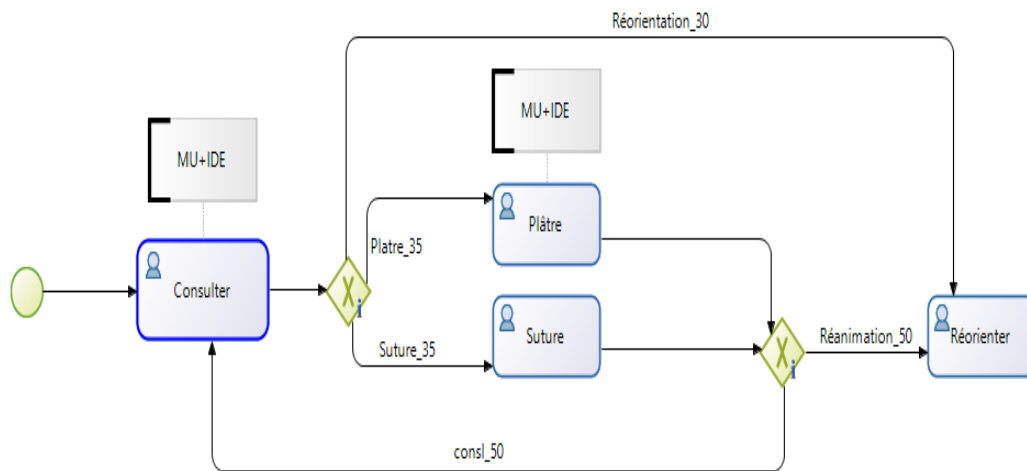


Figure III-9 : Modélisation du processus SUP (sous-processus Soins externes)

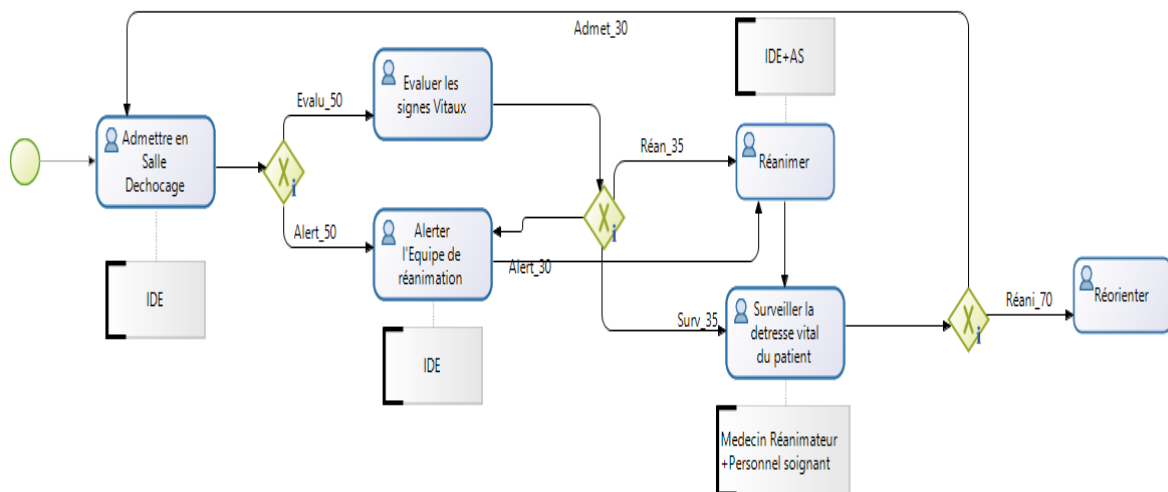


Figure III-10 : Modélisation du processus SUP (sous-processus Urgences vitales)

Cette modélisation considère tout type de soins et d'orientation au sein de la structure ainsi que les tâches d'enregistrement et de remplissage des formulaires. Ces formulaires évoluent à chaque étape du parcours patient. Ils constituent donc le dossier du patient. Ce dossier assure la traçabilité de toutes les actions effectuées. Il facilite également le passage d'information et la communication entre les acteurs de soins et les patients. De plus, ce modèle prend en considération la notion du temps d'attente qui est modélisé par des tâches concrètes comme « Attendre Orientation », qui représente le temps passé dans la salle d'attente afin d'obtenir une image fiable et semblable à la réalité.

III.9 Modélisation en régime tension

Lors des périodes des pics d'activité, le service du SUP déborde. La salle d'attente n'est plus suffisamment grande, les familles s'entassent dans les couloirs étriqués du service avec leurs enfants et le temps d'attente de ces derniers explose. En effet, il peut atteindre plus de 5

heures lors des périodes les plus affluentes en termes d'entrées, alors qu'en temps normal (régime permanent) le temps d'attente est inférieur à 2 heures. Le service bascule donc dans une nouvelle phase de fonctionnement, que nous appelons « tension », toujours dans le but de fluidifier le flux de patients.

Lors des pics d'activité, les médecins prennent l'initiative de réquisitionner toutes les ressources disponibles, quelles que soient leurs spécificités théoriques, afin de répondre aux besoins des patients. Dès lors, les ressources de type « salle » voire de type « lit », ou même certaines ressources humaines, peuvent être « dé spécifiées » lors de certaines tâches. Par exemple, une consultation qui s'opère en temps normal dans un box pourra être réalisée dans une salle « sutures et plâtre ».

III.9.1 Workflow collaboratif du parcours patient en régime tension

La spécificité du fonctionnement du SUP en régime tension, nous a donc conduits à définir un nouveau parcours patient qui tient compte de la possibilité d'utiliser des ressources qui ne sont pas affectées aux tâches, car les médecins peuvent les réaffecter. Ces ressources concernent essentiellement les salles du service : nous nous sommes donc focalisés sur cet aspect dans la redéfinition du parcours patient. Ainsi, l'entrée qui est purement administrative, ne change absolument pas par rapport à la modélisation permanente. En effet, il s'agit d'enregistrer le patient correctement selon des critères administratifs et législatifs. Pour ce qui est de la sortie, elle non plus, n'est pas modifiée car il n'y a aucune raison que les patients réorientés reviennent. D'autre part, les sorties sont, comme les entrées, des étapes fortement administratives, qui impliquent donc des services bureaucratiques totalement extérieurs au service médical pur, et qui servent à assurer le bon suivi du patient, de son admission jusqu'à sa sortie. Ces services permettent aussi à l'hôpital de se prémunir en cas de litige avec un patient, suite à des complications de santé de ce même patient.

Chaque prestation (simple consultation, opération, plâtre, hospitalisation courte durée, etc.) peut être réalisée dans différentes salles. Il convient alors après avoir trié les patients en fonction des soins qui doivent leur être administrés, de les séparer à nouveau en fonction de la salle dans laquelle ils doivent les recevoir. Cette opération démultiplie ainsi les possibilités de prise en charge du patient, et complexifie fortement le parcours du patient. En outre, ce second tri doit être correctement modélisé, puisqu'il ne suit pas de règles explicitement formulées. En effet, c'est le médecin qui choisit, au dernier moment, dans quelle salle il envoie ses patients. C'est ainsi que la salle d'Urgence vitale n'est utilisée qu'en dernier recours, puisqu'elle est vouée à accueillir des patients dont le processus vital est engagé. D'autre part, la salle d'accueil par défaut est bien évidemment la salle qui est dédiée aux soins en question. Puis entre les deux, ce sont les autres salles qui sont automatiquement assignées, sans priorité particulière.

une année les heures d'entrée et de sortie des patients, et la cause de leur venue aux Urgences.

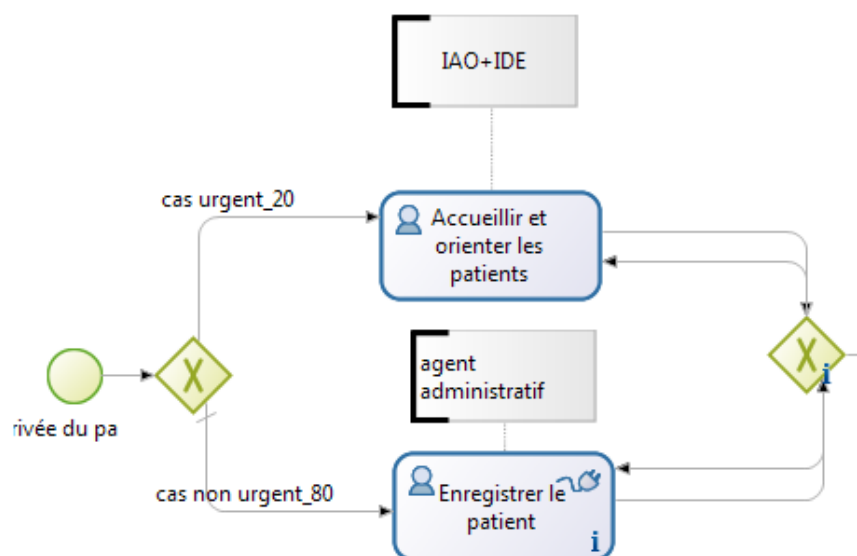


Figure III-12 : Exemple d'intersections ou nœuds

Dans cette phase présentée par la figure ci-dessus (Figure III-12), nous avons utilisé le branchement « OU exclusif » pour réaliser l'étape de l'enregistrement du patient ainsi que l'étape de son orientation. Cela veut dire que dès l'arrivée du patient, ce dernier est soit dirigé vers l'enregistrement, soit vers l'accueil et l'orientation selon la gravité de son cas. Cependant, il ne pourra passer à l'étape suivante que si les deux tâches (« enregistrement » et « orientation ») ont été correctement achevées. Puis, nous avons utilisé la méthode probabiliste qui sert à répartir correctement les flux. Les pourcentages choisis (exemple : cas urgent_20 = 20 % sur la Figure III-12) de probabilité que les patients qui arrivent dans le service soient des cas « urgents » font partie des résultats de l'étude de la base de données fournie par l'hôpital.

III.9.3 Les connecteurs

Le logiciel « BonitaSoft » dispose d'un vaste choix de connecteurs pour des systèmes d'information, des bases de données, des différents contenus voire même pour des réseaux sociaux. Afin de mettre en place une application qui correspond à nos besoins, nous avons profité de ces différents connecteurs fournis.

Nous avons utilisé dans notre application deux types de connecteur :

- Le premier est un connecteur de base de données liée à une base que nous avons créée avec le système de gestion de base de données MySQL. Nous avons utilisé ce connecteur pour pouvoir enregistrer automatiquement le patient dès le remplissage du formulaire d'enregistrement.
- Le deuxième est un connecteur avec les mails. Il permet d'envoyer un courrier contenant un récapitulatif du dossier patient à l'adresse mail donnée à

l'enregistrement. L'envoi de ce courrier est fait lors de la sortie du patient de la structure.

III.10 Approches agents pour les workflows collaboratifs

Les SMA sont dotés d'autonomie et de réactivité. Nous réunissons donc sous l'appellation « *SMA pour workflow* » toute approche distribuée d'exécution des instances du workflow impliquant des entités coopératives. Les modèles workflow collaboratif en santé ainsi développés sont dotés des caractéristiques d'exécution du workflow d'une manière répartie. En effet, les SMA sont formés d'entités distribuées (plusieurs services dans le SUP), capables de communiquer, qui peuvent influencer la suite de l'exécution d'un processus. Ces entités ont un état spécifique à elles et qui n'est pas aperçu par les autres entités. L'interaction entre les différentes entités peut générer de nouvelles solutions pour des problèmes d'optimisation, comme par exemple, la conclusion d'un acte médical.

Les agents pour workflow peuvent être classés en trois catégories :

- Les agents qui coopèrent au service des patients. Chaque agent joue ici un rôle similaire à un agent physique (médecin) dans le SUP pour améliorer la prise en charge des patients.
- Les agents distribués responsables de la coordination réactive de tâches de soin. Ils sont basés sur des activités et non pas sur un rôle. Leur coordination est gérée par un schéma du workflow sans un moteur central d'exécution.
- Les agents qui passent d'un « point de service » à un autre. Par exemple un agent médecin migre d'une équipe soignante à une autre au profit d'un patient plus prioritaire.

III.11 Coalition d'agents pour exécuter des instances du workflow collaboratif

Le workflow collaboratif permet de modéliser d'une manière réaliste la position du patient et ses déplacements entre les différents sites du SUP. En raison de la nature imprévisible de l'activité de soins et l'environnement incertain du SUP qui nécessitent une gestion dynamique de l'information, la formation de coalitions d'agents s'avère nécessaire pour résoudre le problème de planification des tâches de soins, la gestion des ressources et la supervision du Workflow.

La logique d'une coalition se base sur des agents jouant le rôle d'acteurs coopérants. Chaque agent de la coalition est capable de piloter l'exécution d'une instance de workflow. Une instance est composée à l'aide d'opérateurs définissant des contraintes (séquence, parallélisme, etc.) et des conditions, afin de créer des tâches de soins complexes. Ces tâches de soins peuvent être imbriquées entre elles à tous les niveaux (Ben Othman et al. 2015-b).

Les agents d'une coalition doivent conclure des accords entre eux pour décider s'ils ont besoin de services fournis par d'autres agents d'une autre coalition au profit d'un état de santé d'un ou de plusieurs patients. Ces accords sont appelés « négociation ». Un protocole de

négociation a été proposé, permettant aux agents de fournir les décisions appropriées et d'établir leurs conditions d'exécution (exécution unique ou répétée d'une instance de workflow, affectation du personnel médical, etc.). La stratégie de négociation utilise explicitement deux bases de connaissances : la première base est déclarative qui sert à décrire les objectifs et le contexte de la négociation (par exemple, adapter la salle de soin en fonction de la pathologie d'un patient). La deuxième base de connaissance inclut des règles de négociation, par exemple une stratégie d'affectation des équipes membres de personnel médical pour l'obtention d'une prise en charge de qualité (Ben Othman et al. 2015-c).

L'objectif est de définir un protocole de négociation des agents de la coalition pour l'exécution distribuée d'une instance de workflow. Nous proposons une approche à deux étapes pour la gestion d'un workflow collaboratif. L'intérêt de ce découpage en deux phases est de séparer dans le modèle, grâce à une coalition d'agents, une première phase d'affectation et d'ordonnancement des tâches de soins, qui servira ensuite à l'Agent Ordonnanceur (AO) de piloter le contrôle, d'une seconde phase d'orchestration dynamique, reposant sur un processus de négociation entre les agents de la coalition (par exemple l'AO et les agents personnel médical). L'idée est donc de séparer les coalitions en fonction de la nature (prévisibilité) des connaissances qu'elles manipulent.

La phase d'ordonnancement et d'affectation de tâches : l'AO, analyse la description d'un schéma de workflow. Ce schéma définit les propriétés inhérentes respectant les protocoles de soins, fixées avant toute exécution. Il inclut des spécifications sur les ressources existantes, la liste des tâches à exécuter, ainsi que les liens de précedence entre ces tâches.

La phase d'orchestration dynamique repose sur une méthodologie d'ordonnancement dynamique. En plus des contraintes temporelles, la disponibilité réelle des ressources est également prise en compte. Durant cette étape, les tâches sont ordonnancées selon des priorités calculées au fur et à mesure de l'exécution du workflow.

Nous allons expliquer en détail ces deux phases dans le chapitre IV.

III.12 Protocole de négociation entre les agents pilotant une instance de workflow

L'AO est l'initiateur de la négociation. Il ignore les informations relatives aux différentes ressources à allouer aux tâches de soins, mais il a toutes les informations sur les patients, leurs pathologies et leurs besoins.

L'initiateur de la négociation (AO) envoie une requête à l'agent personnel médical considéré le plus qualifié pour l'exécution de la tâche de soins. Le message a la forme suivante :

< AO, personnel médical, requête, date de disponibilité du personnel médical, ensemble des tâches de soins à exécuter à un instant t >, où ;

La date de disponibilité correspond à la date au plutôt à laquelle le personnel médical devient disponible pour exécuter l'ensemble des tâches de soins.

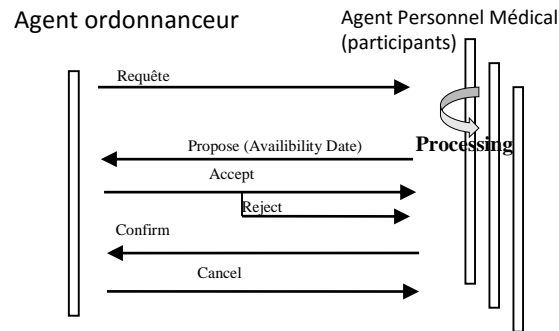


Figure III-13 : Protocole de négociation entre les agents

L'ensemble des tâches de soins à exécuter à un instant t peuvent être réalisées par plusieurs membres du personnel médical. Chaque membre analyse la requête, calcule en temps réel sa disponibilité et envoie une réponse à l'AO qui choisit parmi les réponses reçues le personnel médical le plus adéquat. (Il accepte ou refuse les propositions)

L'AO garde en mémoire toute information envoyée pendant un cycle de négociation. Ainsi il lui est possible de savoir quels agents membres du personnel médical doivent être informés suite à une modification d'exécution d'une instance de workflow.

Chaque AO négocie également avec les agents membres du personnel médical de sa coalition, pour réserver des créneaux horaires pour l'exécution de tâches de soins. Cette réservation concerne tous les créneaux d'une plage horaire donnée, commençant à partir de la plage horaire courante de l'instance du workflow concerné. Chaque réservation doit inclure les patients et les priorités des tâches de soins préalablement calculées par l'AO. Chaque AO d'une coalition reçoit en échange une liste des taux d'occupation pour chacun des créneaux horaires sollicités. A la fin d'un cycle de négociations, marquée par un message diffusé par l'AO, les agents mobiles membres du personnel médical sélectionnent la première tâche de soin du planning pour son exécution au créneau horaire courant. Ils en informent l'AO responsable, qui peut ensuite accéder à la ressource pour la durée d'exécution de cette tâche. Les autres agents des autres coalitions sont également informés de la non satisfaction de leurs demandes de réservation des créneaux déjà attribués.

Une fois l'exécution de la tâche de soin courante soit terminée, l'AO pilote le workflow pour l'exécution de la tâche de soin suivante de planning, puis sollicite la ressource suivante dont il a besoin. Deux situations peuvent conduire l'AO à ne pas avancer dans l'exécution de sa séquence de tâches, soit il n'a pas été élu pour l'accès à une ressource, soit il attend la date de fin d'exécution des tâches qui précèdent les siennes. Dans ce cas, l'AO doit attendre la libération des ressources et la terminaison des tâches prédécesseurs. Un AO n'ayant plus de tâches à effectuer est éliminé du système.

III.13 Cohérence globale et comportement périodique du workflow collaboratif

L'exécution de workflow collaboratif est confrontée à deux principales difficultés:

- La cohérence globale : Les tâches de soins à exécuter à des services différents du SUP pour un même patient sont liées par des contraintes. La décision d'exécution d'une tâche de soin est prise en fonction de l'évolution de l'état de santé de chaque patient. Pour assurer le respect des contraintes, il est nécessaire que l'AO communique l'état de santé du patient aux différents lieux de sa prise en charge. Pour qu'une tâche de soin soit exécutée, il faut vérifier la disponibilité des ressources matérielle et humaine à l'instant et à l'endroit appropriés.
- Comportements périodiques répétitifs: Au cours de l'échange d'information entre les agents à l'intérieur d'une coalition ou entre des agents appartenant à des coalitions différentes, l'état de chaque agent est mis à jour en fonction des informations recueillies. Cette mise à jour a un impact sur la suite de la négociation engendrant un changement d'état d'un agent. Ainsi, le processus de négociation peut osciller d'un état à un autre. Dans les paragraphes suivants, nous allons analyser les deux problématiques évoquées ci-dessus. Nous proposons des solutions pour y pallier.

III.13.1 Respect de la cohérence globale

Un des problèmes liés à la nature du workflow collaboratif proposé est la propagation d'une manière asynchrone des informations sur les soins déjà faits sur un patient et les soins qui restent à faire avec la prise en compte des contraintes de précédence. Supposons que les délais de négociation entre les entités d'un SMA est minime par rapport au créneau horaire disponible, alors les contraintes de précédences ne sont pas violées, car l'information relative aux tâches de soins prédécesseurs est dans tous les cas transmise avant le début de l'exécution des tâches de soins successeurs.

Il est toujours très difficile de détecter la fin d'une période de négociation même si elle est courte. Pratiquement, la solution retenue passe par l'emploi d'une heuristique : l'AO fait attendre certains patients pendant un temps limité après l'envoi du dernier message de réservation de ressources personnel médical ou de propagation des informations pertinentes, avant de déclencher le processus d'exécution d'une tâche de soin. Ainsi, certains messages en cours de transfert ou de traitement peuvent être considérés.

III.13.2 Traitement des états oscillants

Chaque AO d'une coalition réserve les ressources selon la durée totale estimée pour l'exécution des tâches de soins prédécesseurs. Or, cette estimation est basée sur les probabilités d'exécution des tâches prédécesseurs, qui elles aussi peuvent avoir besoin de la même ressource. Le système de gestion de workflow peut donc être dans un état oscillant.

Par exemple, on peut supposer qu'un AO alloue une ressource « personnel médical » pour exécuter une tâche de soin dont la probabilité d'exécution dépasse le seuil de réservation défini qui entraîne la diminution de la disponibilité de cette ressource. L'AO responsable de l'allocation de la ressource prévient, par conséquent, les autres agents qui ont déjà réservé cette nouvelle disponibilité. Ces agents recalculent alors leurs probabilités et en prévenant les agents successeurs pour adapter leurs calculs à leurs tours. Si l'AO fait partie des agents successeurs, la probabilité d'exécution de sa tâche peut être en dessous du seuil de la demande de réservation, ce qui l'amène à l'annuler. Suite à cette ré-estimation en cascade, l'agent « personnel médical » informe alors l'AO de l'augmentation de sa disponibilité et le cycle recommence de nouveau.

Pour éviter les états oscillants, nous introduisons dans une instance de workflow une variable d'amortissement, permettant de réduire petit à petit l'impact de nouvelles réservations sur l'estimation des disponibilités des ressources « personnel médical », afin d'atteindre une situation stable. Evidemment, ce phénomène ne garantit pas que cette situation stable soit optimale par rapport à notre objectif multicritère.

Dans le chapitre IV, nous allons présenter succinctement une architecture agent permettant d'utiliser ces approches pour ordonnancer et orchestrer le workflow.

III.14 Traitement de points de décision du Workflow collaboratif généré

Le schéma du workflow collaboratif généré comporte plusieurs points de décision, où l'exécution des tâches en cours dépend de l'exécution des tâches précédentes. Les points de décision sont généralement modélisés graphiquement par des losanges.

Dans notre modèle, les tâches de validation peuvent mener soit à une continuité de l'exécution des tâches, soit à un retour à la tâche antérieure (par exemple : après consultation d'un médecin le patient peut revenir dans la salle d'attente). Lors de l'allocation initiale des tâches à l'AO (voir chapitre IV), on peut citer trois différents types de traitement :

- Les points de terminaison d'une instance de workflow peuvent être considérés comme des points de décision. L'exécution de l'instance courante se termine une nouvelle instance commence, en fonction de la décision prise par l'AO.
- Les points de décision peuvent être triés et proposent des tâches à l'AO selon le résultat possibles de ces décisions. L'instance du workflow est générée en fonctions des séquences de tâches les plus crédibles. Par exemple, si la pathologie d'un patient est validée positivement à 90 %, l'AO n'orchestre que la branche « validation positive » du workflow. Une perturbation est considérée par l'exécution d'une instance de workflow selon une séquence moins crédible. L'AO peut générer un traitement d'exception, pendant l'étape en cours, suite à une décision. Cette décision est caractérisée par la reprise de contrôle de l'AO à l'étape précédente.
- L'instanciation parallèle de toutes les branches du processus de décision au moment

du début d'exécution du workflow. Si les conditions d'activation ne sont pas vérifiées, les AO correspondant, restent dans le système sans qu'ils exécutent leurs tâches. L'inconvénient de cette approche est l'alourdissement du système à cause de la consommation en ressources des agents inactifs.

Nous allons voir dans le chapitre IV que le choix d'une solution dépend fortement du contexte spécifique du workflow traité. Des analyses plus approfondies seront certainement nécessaires pour l'évaluation des avantages et des inconvénients de chacune de ces approches pour une application donnée.

III.15 Synthèse

Le workflow collaboratif, que nous avons adopté pour la modélisation du parcours patient au SUP, est basé sur la coopération d'entités logicielles dotées de capacités d'agir, qu'on peut qualifier d'agents logiciels. Les approches les plus récentes font de plus en plus appel au concept des agents mobiles, permettant le transfert d'informations nécessaires à l'exécution d'une instance de workflow. La communication entre agents, la capacité de réagir aux événements, ainsi que l'implémentation de protocoles de communication constituent les principales caractéristiques pour orchestrer le workflow. Or, pour être capable de s'adapter aux situations imprévues, un logiciel de gestion de workflow doit forcément intégrer un module d'ordonnancement de tâches. Bien qu'il soit acquis que la coopération interservices exige un moteur d'exécution entièrement distribué, peu de travaux traitent le problème de l'ordonnancement dynamique et distribué, notamment en présence de la contrainte de respect de compétence de chaque acteur médical.

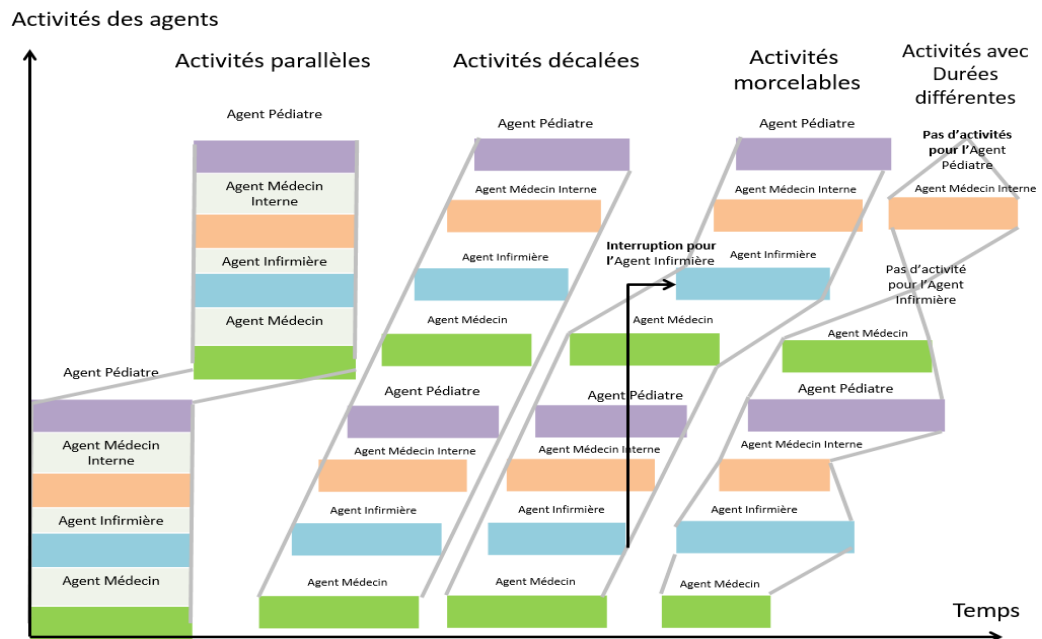
III.16 Les activités des agents pour le Workflow collaboratif

Tous les acteurs de l'architecture multi-agent proposée pour la modélisation du fonctionnement du SUP, en raison de leurs différentes propriétés (l'autonomie, la communication et les interactions, la coopération, etc.) peuvent avoir différents types d'activité. En effet, à un instant donné t , les agents peuvent négocier entre eux, d'autres peuvent transmettre des instructions tandis que d'autres sont en cours d'exécution des tâches.

Dans la Figure III-14, nous avons identifié quatre types d'activités:

- Des activités échelonnées : Tous les agents travaillent avec un décalage. Un agent est en mesure de commencer une nouvelle activité qui peut se chevaucher avec une activité en cours d'exécution.
- Activités parallèles: Dans l'exemple montré ci-dessous, les quatre agents (membres du personnel médical) fonctionnent simultanément. Chaque agent doit attendre la fin d'une activité pour commencer une autre.
- Activités morcelables: Un agent peut arrêter une activité déjà commencée, s'il reçoit une mise à jour ou une tâche de soins plus urgente à effectuer.

- Activités à durées différentes: Les activités des agents peuvent avoir des durées différentes qui dépendent de la catégorie de la tâche de soins en cours d'exécution.



Pour déterminer le nombre de tâches de soins gérées par un agent, nous nous sommes fixés deux objectifs :

- Minimiser les interdépendances temporelles entre les tâches de soins gérées par des agents différents, afin de réduire le nombre de messages échangés nécessaires au respect des contraintes de précédence. Il existe un cas particulier, si un agent gère uniquement une seule tâche, toutes les contraintes de précédence deviennent des contraintes « inter-agents », impliquant un nombre de messages important.
- Minimiser la durée globale de l'exécution d'une instance de workflow, en parallélisant l'exécution des tâches et en optimisant ainsi l'utilisation des ressources « personnel médical ». Un agent « personnel médical » ne peut pas être à deux endroits en même temps, pour des raisons de cohérence spatio-temporelle, il est donc interdit d'exécuter simultanément deux tâches par un même agent. Il existe un cas particulier, lorsqu'on ne crée qu'un seul agent pour la gestion de toutes les tâches de soins, la durée globale de l'exécution de bout en bout du workflow correspond à la somme des durées de toutes les tâches de soins.

Par conséquent une utilisation optimale des ressources « personnel médical » et une minimisation du temps global d'exécution nécessitent d'allouer à des agents différents des tâches de soins qui s'exécutent parallèlement à l'aide de ressources « personnel médical » différentes. De la même manière, l'AO interdit l'exécution de deux tâches de soins en parallèle utilisant la même ressource « personnel médical ». Il s'agit d'un cas pertinent, malgré

l'hypothèse de l'indivisibilité des ressources. La formulation mathématique de ces contraintes sera détaillée dans le chapitre suivant.

III.17 Conclusion

L'utilisation d'outils workflow pour la gestion des processus à l'intérieur d'un établissement de santé est aujourd'hui largement acceptée. Cependant, son emploi dans le contexte inter-hôpital se heurte encore à certains obstacles, dont les plus importants sont la difficulté du transfert du dossier patient entre les différents services et le manque de standardisation lors de l'interconnexion des différents workflow locaux.

Les tâches du workflow sont soumises à des contraintes temporelles (contraintes de précédence, échéances, etc.) et de ressources (hommes ou machines). Compte tenu de la nature distribuée du workflow collaboratif, des événements imprévisibles peuvent survenir à tout instant. Ainsi, la coordination de l'exécution des tâches doit être faite de manière dynamique, afin de neutraliser ou de réduire l'impact des perturbations.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier et développer une architecture multi-agent qui constitue une solution permettant de gérer la collaboration entre personnel médical du SUP de façon réactive et dynamique. Un grand nombre de travaux de recherche se base sur ce type de méthodologies. Cependant, nous constatons qu'aucun de ces travaux ne traite le problème de l'ordonnancement et l'orchestration dynamique du workflow par un SMA sous la contrainte additionnelle du respect de la confidentialité des données.

CHAPITRE IV. Architecture à base d'agents pour l'aide à l'ordonnancement et l'orchestration dynamique des tâches

IV.1 Introduction

Les problèmes dans le SUP sont principalement relatifs aux flux imprévisibles de patients. Les tensions dans ces services sont des générateurs des temps d'attente considérablement longs, et tous les indicateurs prouvent que la réduction de ces tensions est toujours non maîtrisable. Pour faire face à ces problèmes, nous proposons une formulation mathématique du problème d'ordonnancement étudié et un SMA ouvert et dynamique pour gérer les problèmes de la prise en charge des patients. Nous nous focalisons principalement sur le comportement de l'AO qui fait partie de cette architecture. L'agent AO permet d'optimiser les flux patients et d'ordonner l'activité des processus de soin préalablement représentée par un Workflow. L'agent AO construit ainsi des plannings optimisés pour le personnel médical pour garantir une exécution contrôlée du Workflow, ce qui permettra de garantir à termes une prise en charge rapide et de qualité tout en planifiant les ressources du système hospitalier. Nous étudions dans la dernière partie de ce chapitre quelques approches d'orchestration dynamique du Workflow par l'AO afin d'optimiser les différents critères en cours d'exécution du Workflow.

IV.2 Formulation mathématique du problème d'ordonnancement dans le SUP

Les tâches du Workflow collaboratif, décrites dans le chapitre III, sont soumises à des contraintes temporelles (contraintes de précédence, échéances, etc.) et de ressources (personnel médical ou ressources matérielles). Aujourd'hui un outil de workflow dispose d'un moteur d'exécution distribué, mais il est dépourvu d'un module d'ordonnancement des tâches avec prise en compte des compétences. Dans la littérature, peu de travaux traitent le problème de l'ordonnancement dynamique et distribué en santé, notamment en présence de la contrainte des tâches de soins distribuées et à compétences multiples.

Le problème d'ordonnancement des tâches à compétences multiples est un problème d'optimisation hautement combinatoire analogue à un problème d'ordonnancement Job Shop flexible avec prise en compte des compétences. Deux approches dans sa résolution sont considérées. La première consiste à affecter judicieusement le personnel médical aux tâches. La deuxième est le séquençement des tâches et la détermination de leurs dates de début d'exécution en tenant compte des différentes contraintes et en optimisant un certain nombre de critères. Ainsi, plusieurs critères peuvent être pris en compte dans l'analyse et la résolution de ce problème d'ordonnancement. En effet, quatre critères sont pris en compte : la réduction du temps d'attente global moyen des patients, l'équilibrage de la charge de travail du personnel médical, la minimisation de la charge totale et la minimisation du temps total d'exécution des tâches de soins (C_{max}).

Le problème d'ordonnancement considéré doit tenir compte de 3 types d'opérations de soins : les opérations programmées, les opérations non-programmées et les opérations non-programmées urgentes. Ainsi, le praticien doit prendre en considération la mobilité des patients entre les sites de soins (IRM, la radiologie, les examens biologiques, etc.). La préemption des tâches de soins non urgentes au profit des tâches de soins urgentes est autorisée. Les tâches de soins non-urgentes peuvent être exécutées par morceaux pendant des périodes par des membres différents du personnel médical. Les opérations de soins pour le même patient sont classifiées en deux catégories: les opérations morcelables et les opérations non morcelables. Chaque membre du personnel médical a un ensemble de périodes de traitement autorisées et un ensemble de box pour exécuter les opérations de soins. Les périodes peuvent se chevaucher et les box peuvent ne pas être disponibles en cas de besoin.

Les contraintes dures sont les suivantes:

- Un membre du personnel médical ne peut pas traiter deux patients à la même période ou à deux périodes de chevauchement.
- Un membre du personnel médical peut être attribué à une ou plusieurs périodes.
- Une opération de soins non morcelable doit être affectée à un box unique.
- La durée de traitement du patient peut être égale à la durée de la période pendant laquelle elle est affectée ou la somme de plusieurs périodes consécutives ou séparées.
- La capacité d'un box ne doit pas être dépassée en aucune période.
- La somme des nombres de patients dans les différents sites du SUP (patients envoyés à la radiologie, échographie, les patients dans les box, etc.) doit être égale au nombre total des patients enregistrés.
- Un box peut être utilisé seulement à une période d'un ensemble de périodes qui se chevauchent.
- Chaque opération de soins doit être affectée qu'une seule fois.

La résolution du problème d'ordonnancement des tâches à compétences multiples n'est possible que lorsque toutes les contraintes dures sont respectées. La qualité de la solution est mesurée à l'aide des contraintes souples.

Quand une contrainte souple n'est pas satisfaite, une pénalité est appliquée. Les contraintes souples utilisées pour mesurer la qualité de la solution diffèrent d'un SUP à l'autre. Les définitions suivantes décrivent brièvement les contraintes souples utilisées par les praticiens du SUP :

- L'affectation à différents box des opérations consécutives correspondant à un même patient doit être évitée.
- Deux membres du personnel médical m_k et m_l ayant des patients en commun, sont placés à deux périodes l'une après l'autre dans la même journée.
- Chaque membre du personnel médical doit être autorisé à quitter le patient après la fin de l'opération de soins qui lui est affectée.

- Dans une situation de tension, le passage d'une salle de traitement à l'autre doit être autorisé.
- La préemption des opérations de soins non vitaux est autorisée. En effet, une opération attribuée à un membre du personnel médical nécessaire à l'exécution d'une opération de soins plus urgente peut être réaffectée à un autre membre du personnel médical si ce dernier possède les compétences nécessaires pour son exécution.
- L'affectation des membres du personnel médical dans différents sites doit être autorisée.
- Dans une situation de crise, des examens médicaux peuvent se produire dans les couloirs du SUP.

Les contraintes dures doivent être respectées. Cependant, les contraintes souples peuvent être violées en particulier dans une situation de tension.

Dans la suite, nous définissons une formulation mathématique des différentes variables, contraintes et critères d'optimisation qui nous seront utiles pour fournir un ordonnancement des tâches de soins optimal et réalisable.

IV.2.1 Paramètres

IV.2.1.1 Les paramètres liés aux opérations de soin

NP : un ensemble de N patients à traiter, $NP = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$,

MS : un ensemble de M membres du personnel médical, $MS = \{m_1, m_2, \dots, m_M\}$,

k : indice du membre du personnel médical m_k ,

O_{ij} : i -ième opération de soins correspondant à un patient P_j . Pour chaque $P_j \in NP$, $1 \leq j \leq N$, $P_j = \{O_{i,j}, 1 \leq i \leq n_j\}$, n_j nombre d'opérations de soins correspondant au patient j ,

P_j^s : sous-ensemble de patients correspondant aux opérations de soins morcelables, $P_j^s \subset P_j$

P_j^{ns} : sous-ensemble de patients correspondant aux opérations de soins non morcelables, $P_j^{ns} \subset P_j \setminus P_j^s$

B : ensemble de couple (m_1, m_2) où m_1 et m_2 sont deux membres du personnel médical qui ont des patients en commun,

w_{kl} : nombre de patients en commun à traiter par les membres du personnel médical m_k et m_l ,

r_j : la date de début au plus tôt du traitement du patient P_j ,

$d_{i,j,k}$: temps d'exécution théorique de l'opération $O_{i,j}$ effectuée par le personnel médical m_k ,

- W_k : la charge de travail du personnel médical m_k ,
- W : la charge de travail de tous les membres du personnel médical, $W = \sum_{k=1}^M W_k$
- $r_{i,j,k}$: la date de disponibilité au plus tôt du personnel médical m_k pour l'opération $O_{i,j}$,
- $r_{i,j,k} \geq r_j$
- $C_{i,j,k}$: la compétence du personnel médical m_k nécessaire pour l'exécution de l'opération $O_{i,j}$,
- t_j^{ent} : la date d'arrivée du patient P_j ,
- $t_{i,j}$: la date de début d'exécution de l'opération $O_{i,j}$,
- $\gamma_{i,j}$: la durée théorique minimale d'exécution de l'opération de soins $O_{i,j}$,
- c_j : la date de fin de traitement théorique du patient P_j ,
- d_j : la date de fin de traitement réelle du patient P_j .

IV.2.1.2 Paramètres liés aux salles de soin

- S : ensemble de sites dans le CHRU de Lille (radiologie, IRM, site pour les tests biologiques, etc.) et $n_S = Card(S)$ est le nombre de sites dans cet ensemble,
- R : ensemble de toutes les salles de soins disponibles,
- n_p^R : nombre de salles de soins disponibles dans la période p ,
- S_r^R : capacité de la salle de soins r , $r \in R$.

IV.2.2 Variables

IV.2.2.1 Variables de décision primaires

- X_{jpr} : booléen, 1 si une opération ou une partie d'elle correspondant à des patients j est placée à la période p dans la salle de soins r ,
- X_{jp} : booléen, 1 si une opération correspondant au patient j est placée à la période p .

IV.2.2.2 Variables de décision secondaires

- A_{jpr} : un entier représentant le nombre de patients $P_j \leq N$ ayant des opérations de soins fractionnables placées à la période p dans la salle r ,
- C_{lk}^{xy} : booléen, mis à 1 si les membres du personnel médical m_l et m_k , ayant des patients en commun, sont placés à deux périodes consécutives x et y dans la même journée,
- C_{lk}^{SP} : booléen, mis à 1 si les membres du personnel médical m_l et m_k , ayant en commun des patients, sont placés dans deux sites différents S et P , à deux périodes avec un décalage,
- U_{pr} : booléen, mis à 1 si plusieurs patients sont traités à la période p dans la salle r . Le nombre de patients j dépasse la capacité S_r^R ,

- U_{jpc} : booléen, mis à 1 si un ou plusieurs membres du personnel médical sont affectés à la période p au patient P_j dans le couloir c ,
- C_{lk}^T : booléen, mis à 1 si les membres du personnel médical m_l et m_k ont des patients en commun et sont placés dans deux périodes avec un décalage et dans des salles de soins situées à différents sites. Pour cela, un déplacement T est nécessaire.

IV.2.3 Paramètres institutionnels

- w^T : pénalité liée au déplacement du patient entre les différents sites de l'établissement de santé,
- w_c : pénalité de l'utilisation du couloir c ,
- BC_p^r : pénalité liée au dépassement de la capacité de la salle r à la période p ,
- MS_p^k : pénalité liée au dépassement de la charge de travail du membre du personnel médical m_k dans la période p ,
- G^{PS} : pénalité liée à l'écart dans la période de traitement.

IV.2.4 La fonction objectif

Minimiser:

$$C(w^T) + C(w_c) + C(BC_p^r) + C(MS_p^k) + C(G^{PS}) \quad (IV-1)$$

avec:

- $C(w^T)$: coût engendré par le déplacement du patient entre les différents sites de l'établissement de santé.
- $C(w_c)$: coût engendré par l'utilisation du couloir.
- $C(BC_p^r)$: coût généré par le dépassement de la capacité de la salle r à la période p .
- $C(MS_p^k)$: coût engendré par le dépassement de la charge de travail du membre du personnel médical m_k pendant la période p .
- $C(G^{PS})$: coût engendré par l'écart dans la période de traitement.

La fonction objectif est une somme de pénalités dont chacune caractérise une contrainte souple spécifique.

IV.2.5 Les contraintes

IV.2.5.1 Contraintes dures

Les contraintes dures suivantes conditionnent la faisabilité de la solution.

SSO_r^p : La somme des opérations morcelables (ou parties des opérations) allouées à la salle de traitement r à la période p ne doit pas dépasser la capacité de la salle de traitement:

$$\forall r \in R, \forall p \in \mathbb{R}, \sum_{P_j \in P_j^s} A_{jpr} \leq S_r^R$$

La liaison entre les variables X_{jpr} et A_{jpr} relatives aux opérations de soins fractionnables est comme suit :

$$\forall P_j \in P_j^s, \forall r \in R, \forall p, \begin{cases} A_{jpr} \leq \text{Card}(P_j^s) * X_{jpr} \\ A_{jpr} \geq X_{jpr} \end{cases} \quad (\text{IV-2})$$

Les deux parties d'équations ci-dessus servent à vérifier que $X_{jpr} = 1$ si $A_{jpr} \neq 0$.

SPS_r^p : La somme de patients qui ont des opérations de soins fractionnables doit être égale à : $\text{Card}(P_j^s)$,

$$\forall P_j \in P_j^s, \sum_{r \in R} \sum_{p \in \mathbb{R}} A_{jpr} = \text{Card}(P_j^s) \quad (\text{IV-3})$$

La liaison entre les variables X_{jpr} et X_{jp} relatives aux opérations fractionnables est comme suit:

$$\forall P_j \in P_j^s, \forall p \in \mathbb{R}, \begin{cases} \sum_{r \in R} X_{jpr} \leq n_p^R X_{jp} \\ \sum_{r \in R} X_{jpr} \geq X_{jp} \end{cases} \quad (\text{IV-4})$$

Au plus n_p^R salles de traitement peuvent être utilisées pour planifier les opérations de soins dans la période p .

L'équation (IV-4) confirme que, quand $X_{jp} = 1$, il y a au moins une variable X_{jpr} égale à 1 et au plus n_p^R .

NSO_r^p : Une opération de soins non fractionnable doit être attribuée à exactement une salle de traitement:

$$\forall P_j \in P_j^{ns}, \sum_{p \in \mathbb{R}} \sum_{r \in R} X_{jpr} = 1$$

ROP_r^{pq} : Une salle de traitement ne peut pas être utilisée pour deux patients en deux périodes qui se chevauchent p et q :

$$X_{j_1pr} + X_{j_2qr} \leq 1, \forall P_{j_1}, P_{j_2} \in NP, \forall r \in R$$

MSP_r^{pq} : Deux membres du personnel médical qui ont des patients en commun ne peuvent pas être attribués à la même période ou dans les deux périodes de chevauchement p et q :

$$X_{j_1p} + X_{j_2q} \leq 1, \forall P_{j_1}, P_{j_2} \in NP$$

IV.2.5.2 Contraintes souples

La qualité de la solution est déterminée par les contraintes souples suivantes :

CPP_{lk}^{SP} : Chaque fois que deux membres du personnel médical m_k et m_l ayant des patients en commun sont placés dans deux périodes consécutives dans deux sites différents S et P , une pénalité de déplacement du patient est appliquée: $C^{SP} = w^T \sum_{m_l, m_k \in MS} C_{lk}^{SP}$

MPC_p : Chaque fois qu'un membre du personnel médical est affecté pour traiter un ou plusieurs patients dans le couloir à la période p , une pénalité de couloir c est appliquée:

$$U^c = w_c \sum_{P_j \in NP, p \in \mathbb{R}} U_{jpc}$$

Cap_p^r : Chaque fois qu'au moins deux patients sont traités à la même période p dans la même salle r , une pénalité liée à la capacité est appliquée:

$$BC^r = BC_p^r \sum_{P_j \in NP, r \in R, p \in \mathbb{R}} U_{jpr}$$

IV.2.6 Critères

IV.2.6.1 Réduction de la charge de travail totale des membres du personnel médical: Cr_1

La charge totale est égale à la somme des durées de toutes les opérations de soins selon une affectation quelconque du personnel médical. Cependant, pour chaque opération $O_{i,j}$, la durée d'exécution est supérieure à la longueur minimale $\gamma_{i,j}$ où $\gamma_{i,j} = \min_k (d_{i,j,k})$.

Alors,

$$Cr_1 \geq \sum_j \sum_i \gamma_{i,j}$$

IV.2.6.2 Réduction du temps d'attente global des patients: Cr_2

Ceci correspond à minimiser Cr_2 tel que $Cr_2 \geq \sum_{j=1}^N \max(0, c_j - d_j)$

IV.2.6.3 La réduction du temps de réponse pour les tâches de soin: Cr_3

Ceci correspond à minimiser Cr_3 , avec :

$$Cr_3 \geq \max_j \left(r_j + \sum_i \gamma_{i,j} \right)$$

IV.2.6.4 Equilibrage de la charge de travail du personnel médical : Cr_4

Soit S une affectation d'une opération de soins à un membre de MS , et soit $\bar{W}(S)$ la charge de travail moyenne d'un membre de MS suivant l'affectation S .

Pour la même affectation S , la charge de travail du personnel médical MS qui a la charge de travail la plus élevée est supérieure à la moyenne de la charge de travail, d'où: $\forall S$, on a:

$$Cr_4(S) = \max_k (W_k(S)) \geq \bar{W}(S)$$

$$\bar{W}(S) = \frac{Cr_1(S)}{M}, \text{ à l'aide de la borne inférieure du critère } Cr_1, \text{ on a: } \forall S,$$

$$Cr_4(S) \geq \frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{\text{Card}(MS)}$$

IV.3 Tâches à compétences multiples

Le problème à résoudre est d'assurer une gestion de prise en charge de qualité des patients se présentant au SUP en tenant compte du degré d'urgence. L'objectif est de gérer au mieux les flux de patients en priorisant les cas les plus graves. Le système de gestion du SUP doit mobiliser les membres du personnel médical en fonction de leurs disponibilités et leurs compétences. La problématique revient à organiser l'exécution des tâches de soins en tenant compte des compétences. Chaque traitement d'un patient j correspond à l'exécution d'un nombre n_j d'opérations de soins. Chaque opération $O_{i,j}$ peut être effectuée par un membre du personnel médical avec un pourcentage de la compétence nécessaire à son exécution. Chaque patient j a besoin de plusieurs compétences pour son traitement, simultanément et/ou séquentiellement.

Chaque membre du personnel m_k a un niveau de compétence défini par un pourcentage $\theta_{i,j,k}$ nécessaire pour l'exécution de l'opération $O_{i,j}$. Si $\theta_{i,j,k} = 100\%$, alors $C_{i,j,k}$ est sa compétence principale. Sinon, $0 < \theta_{i,j,k} < 100\%$, $C_{i,j,k}$ est sa compétence secondaire. Dans ce cas, m_k ne peut intervenir pour l'exécution de l'opération de soin que lorsqu'il est considéré qualifié par le responsable de l'équipe médicale dont il fait partie. Si le personnel m_k n'a pas le minimum de compétence requise pour la tâche de soins $O_{i,j}$, il doit être accompagné par un personnel médical maîtrisant cette tâche pour le superviser. Enfin, si $\theta_{i,j,k} = 0$ alors le personnel m_k est incapable d'accomplir cette tâche.

Affecter une opération de soins $O_{i,j}$ à un membre du personnel médical m_k entraîne sa non disponibilité durant la durée $d_{i,j,k}$ ($d_{i,j,k} \in \mathbb{N}^*$). Pendant ce temps, ce personnel n'est pas disponible pour l'exécution d'une autre tâche.

Exemple :

Table IV-1 : Exemple des compétences médicales

Id Compétence	Description
C ₁	Injection
C ₂	Intubation
C ₃	Mise en place chirurgicale

Si l'on identifie C_k (Table IV-1), $k \in \{1, 2, 3\}$, chaque compétence maîtrisée par chaque acteur m_k de l'équipe médicale du SUP, la prise en compte de la polyvalence de ces acteurs peut se traduire, pour chacun d'eux, par l'existence d'un degré de connaissance appartenant à $[0,1]$ pour toute personne m_k et pour chaque compétence requise.

Un degré égal à 1 identifie pour un acteur sa compétence première ou principale (spécialité). Si le degré de connaissance est non nul et différent de 1, l'acteur considéré peut intervenir en assistant ou en remplaçant des acteurs plus qualifiés. L'exemple ci-dessous (Table IV-2) exprime le fait que l'acteur médical m_1 maîtrise les compétences C_1 , C_2 et C_3 avec des degrés respectifs égaux à 1, 0,9 et 0,7. Donc C_1 est sa compétence primaire ou en d'autre terme sa spécialité. C_2 et C_3 sont également des compétences acquises pour m_1 .

Table IV-2 : Exemple de table des niveaux d'expérience du personnel

Compétences	Personnel			
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
C ₁	1	0,4	0.4	0
C ₂	0,9	1	1	0,6
C ₃	0,7	1	1	1

Un patient j peut être pris en charge au plus tard à la date limite d'intervention. L'ordre des opérations de soins pour le plan de traitement du patient est fixé dès le départ grâce aux protocoles médicaux. L'exemple d'identification des opérations de soins donné dans la Table IV-3 exprime que l'opération 1 du patient 1 ($O_{1,1}$) de délai limite d'intervention égal à 12 nécessite pour son traitement 2 unités de temps pour les compétences C_1 et C_2 . Dans ce cas, l'équipe médicale est formée de deux personnes maîtrisant ces 2 compétences par exemple un médecin et une infirmière.

Table IV-3 : Exemple de table d'identification des opérations de soins nécessitant des compétences multiples

Compétences	Opérations (délai limite d'intervention)						
	O _{1,1} (12)	O _{2,1} (14)	O _{1,2} (5)	O _{2,2} (7)	O _{3,2} (9)	O _{1,3} (10)	O _{2,3} (11)
C ₁	2	0	2	2	0	2	0
C ₂	2	2	2	2	1	2	2
C ₃	0	2	0	2	1	0	2

Ces formulations mathématiques vont jouer le rôle d'une base théorique pour ordonnancer les tâches de soins dans le Workflow collaboratif d'une manière optimale. Compte tenu de la nature distribuée du Workflow collaboratif proposé dans le chapitre III, des événements imprévisibles peuvent survenir à tout instant (Urgences vitales, épidémies, etc.). Ainsi, la coordination de l'exécution des tâches par les agents doit être faite de manière dynamique, afin de neutraliser ou de réduire l'impact des perturbations. Une architecture de résolution de la prise en charge des patients dans le SUP doit forcément intégrer des approches de coordination, collaboration, ordonnancement et orchestration. C'est pour cette raison que dans le paragraphe suivant nous proposons une architecture multi-agent capable de tenir compte de tous ces aspects utiles dans le SUP.

IV.4 Modélisation à base d'agents

Grâce à une approche descendante, nous avons conçu un modèle formé de plusieurs types d'agents : L'Agent Accueil (AA), l'Agent Identificateur de problème (AId), l'AO, l'Agent Traceur (AT), l'Agent Ressources (AR), les Agents Personnel Médical (APM) et l'Agent Intégration et Evaluation (AIE) (Ben Othman et al. 2014-b).

En arrivant à l'urgence, le premier contact est établi avec l'Infirmière d'Accueil et d'Orientation (I.A.O). Son rôle est l'orientation médicale à l'arrivée du patient pour optimiser son traitement. Il doit donc recevoir le patient et obtenir des informations sur son état de santé, antécédents médicaux, etc. Une réception administrative a généralement lieu avant d'être reçu par l'I.A.O. Elle vise à inscrire le patient. Le deuxième rôle de l'I.A.O est d'installer le patient, en fonction de la disponibilité des ressources, directement dans un box ou dans la salle d'attente jusqu'à ce que le patient soit pris en charge par un médecin. D'autres examens médicaux complémentaires peuvent être nécessaires au cours du processus de traitement. Les acteurs du SUP sont modélisés par des agents qui sont autonomes, intelligents, actifs, dynamiques et cognitifs. Ils peuvent avoir des rôles différents pour assurer les différentes tâches de soins réalisées par les membres du personnel médical (Figure IV-1).

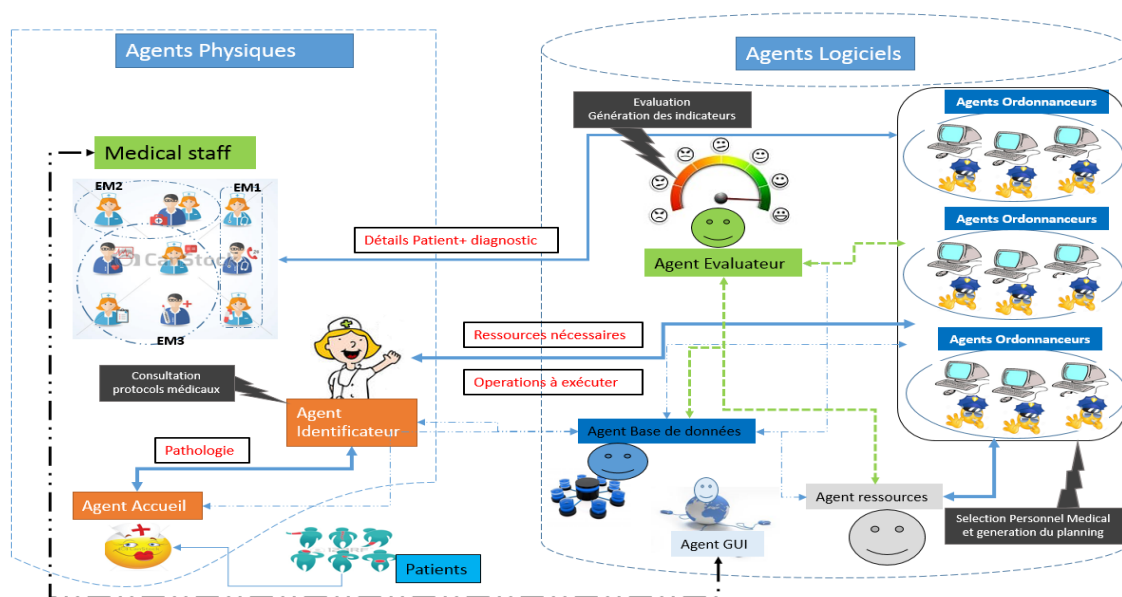


Figure IV-1 : Architecture MA proposée

Grâce à l'information obtenue lors des entrevues avec le personnel médical du SUP du CHRU de Lille, deux types d'agents ont été identifiés: des agents logiciels et des agents physiques. Les agents physiques représentent des acteurs humains actifs sur le terrain (SUP) : les patients, le personnel soignant (les infirmières et les médecins), les techniciens, etc. Quant aux agents logiciels, ils rajoutent des fonctionnalités au système proposé, tels que le système d'information des patients, la gestion des ressources et le calcul des indicateurs de performance. Dans la section suivante nous détaillons l'architecture multi-agent proposée. Dans cette architecture, il existe plusieurs types d'agents fonctionnels: l'AA pour la réception

et l'orientation du patient et également pour l'identification de la pathologie. Après l'enregistrement, il envoie des informations sur le patient à l'AT qui est responsable de suivre l'état de santé et la localisation des patients ainsi qu'à l'Aid, qui définit les ressources nécessaires pour traiter les patients et les compétences requises pour chaque tâche de soins. L'Aid notifie alors l'AR et l'AO de l'information sur les ressources humaines et matérielles à allouer.

Au cours du processus de l'allocation des ressources humaines, l'AO communique avec les APM pour identifier le membre du personnel médical en mesure de fournir des soins pour un patient spécifique. Ceci est lié à leurs compétences et leurs disponibilités. Chaque membre du personnel médical est modélisé par un APM qui est un agent mobile. Il peut se déplacer intelligemment d'une équipe médicale à l'autre afin de traiter les patients. Pendant l'exécution de la planification, les patients avec un degré d'urgence élevé sont prioritaires. Une fois que la planification est réalisée, l'AIE génère des indicateurs de performance pour l'évaluation globale de l'ordonnancement généré.

Dans le paragraphe suivant, nous détaillons les comportements des différents agents impliqués dans l'architecture proposée.

IV.4.1 Comportement de l'Agent Accueil

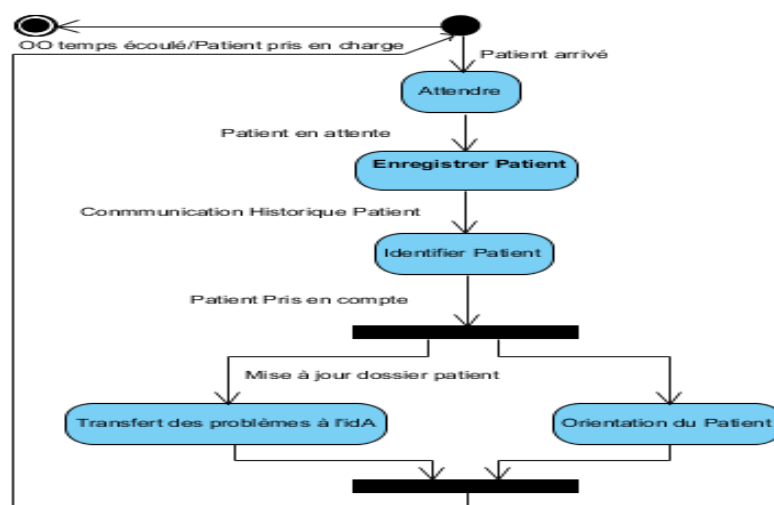


Figure IV-2: Comportement de l'AA

Un patient arrivant au SUP pour une consultation doit être ajouté à la base de données de l'hôpital par le personnel médical. C'est la tâche de l'AA. La personne responsable de l'accueil des patients enregistre le numéro de sécurité sociale du patient dans l'interface prévue à cet effet. L'AA consulte le dossier médical d'un patient dans la base de données créée afin d'examiner son passé médicamenteux et informe l'Aid de l'historique de santé du patient à examiner.

IV.4.2 Comportement de l'Agent Identificateur

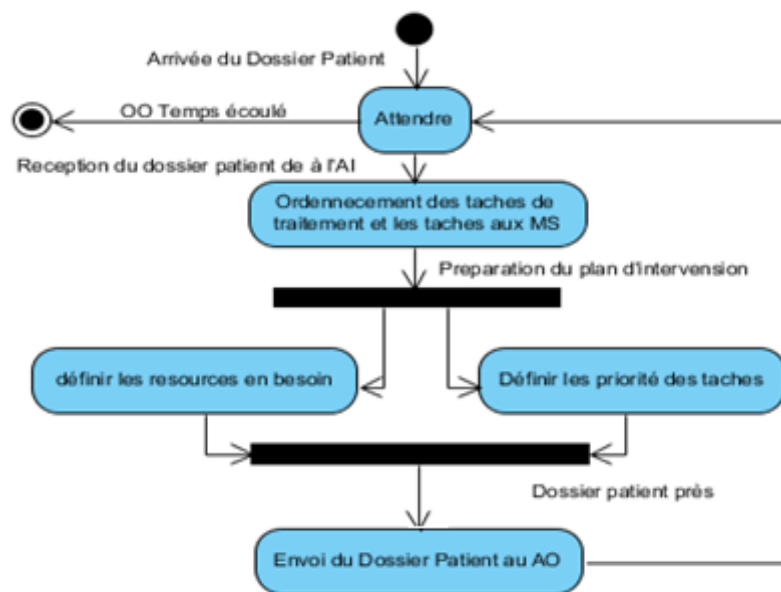


Figure IV-3: Comportement de l'Ald

L'Ald reçoit toutes les informations relatives au patient de l'AA. Il reçoit donc le dossier médical du patient mis à jour en intégrant le diagnostic effectué par le médecin qui l'a consulté. Cet agent agit comme un «médecin régulateur». Il génère le plan de traitement pour le patient en créant une liste de tâches de soins à réaliser. Il détermine également le personnel médical requis pour chaque tâche de soins. Enfin, il enregistre toutes ces informations dans le dossier médical du patient et transmet ces données à l'AO, qui affecte les tâches de soins aux différents membres du personnel médical en déterminant leurs dates de début d'exécution.

IV.4.3 Comportement de l'Agent Traceur

Il intervient principalement lorsque le plan d'exécution des opérations de soins est modifié, soit par l'ajout d'une nouvelle tâche ou la suppression d'une tâche déjà planifiée. Les membres du personnel médical informent l'AT sur les modifications à apporter et à son tour l'AT transmet ces informations à l'Ald. Il interagit donc avec des agents logiciels et informe les agents physiques sur les actions et l'état de santé des patients.

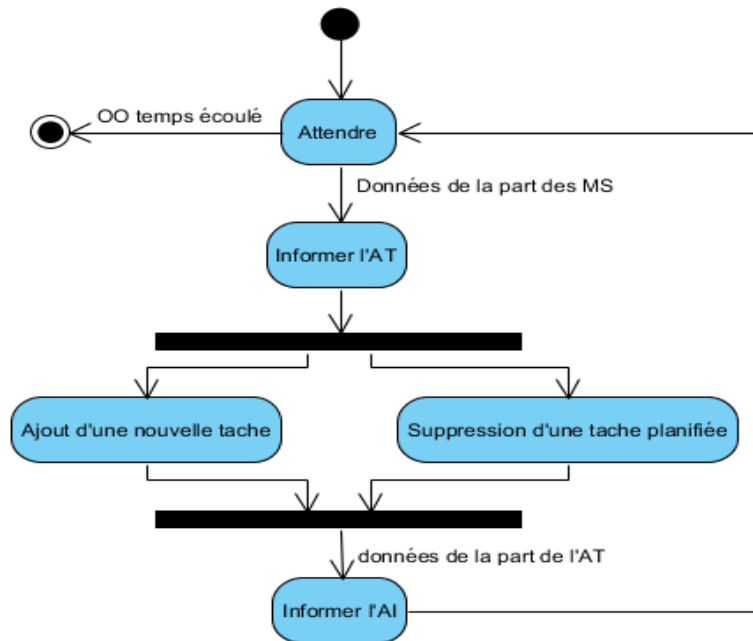


Figure IV-4 : Comportement de l'AT

IV.4.4 Comportement de l'Agent Ressources

Cet agent est chargé du suivi et la gestion des différentes ressources humaines et matérielles disponibles pour les tâches de soins. Il met à jour la date de disponibilité des membres du personnel médical et fait le suivi des stocks des médicaments et la gestion l'inventaire.

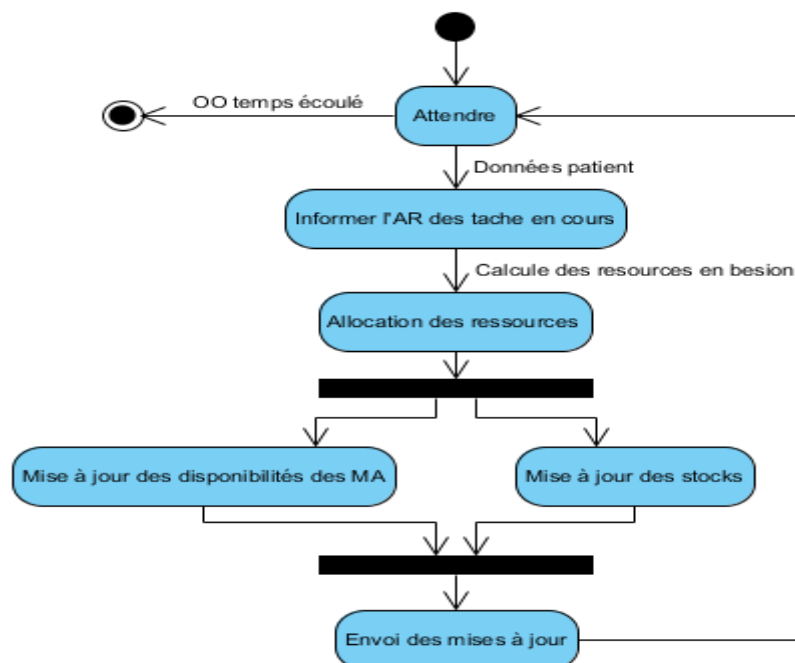


Figure IV-5 : Comportement de l'AR

IV.4.5 Comportement de l'Agent Intégration et Evaluation

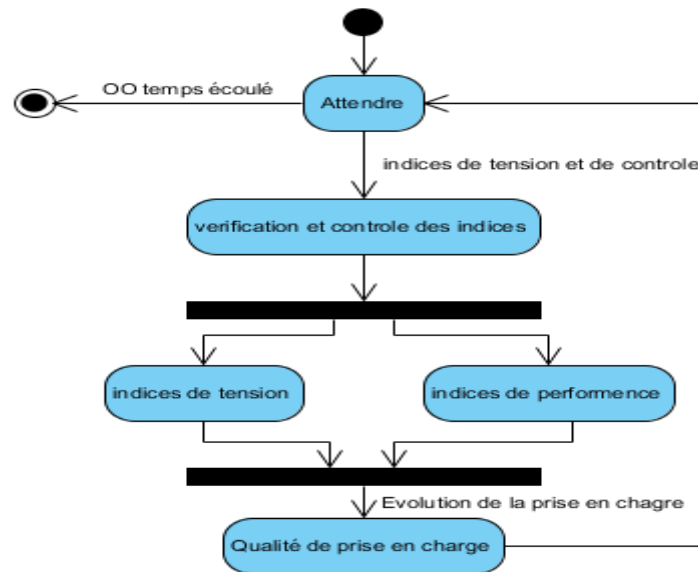


Figure IV-6 : Comportement de l'AIE

Cet agent est chargé de l'évaluation de performance du système. Il vérifie et contrôle l'évolution des indicateurs de tension. Il calcule également les indicateurs de performance du système tel que le temps d'attente des patients afin d'évaluer la qualité de la prise en charge des patients au SUP.

IV.4.6 Comportement des Agents Personnel Médical

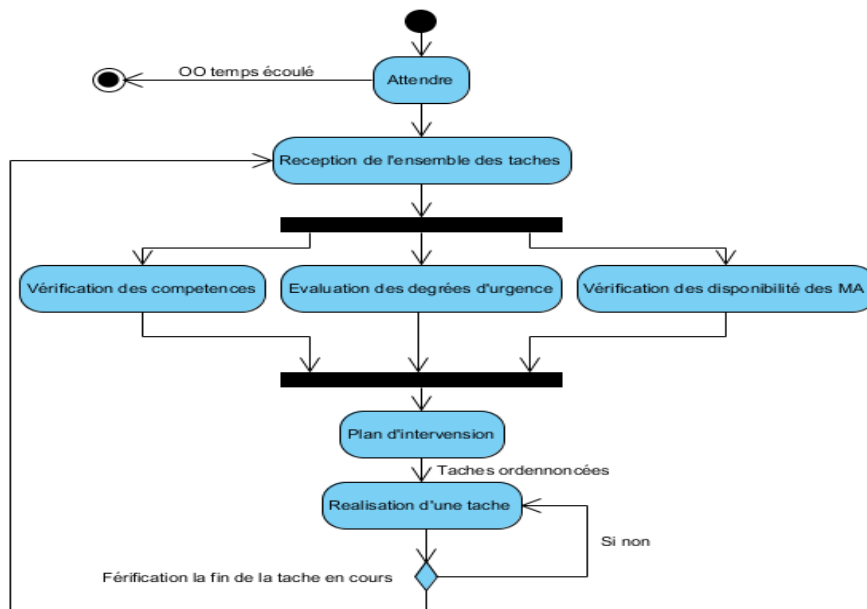


Figure IV-7 : Comportement de l'APM

Un agent APM est un agent mobile, qui représente physiquement un membre du personnel médical et peut se déplacer intelligemment d'une équipe médicale à l'autre dans le SUP afin de traiter les patients. Il est caractérisé par deux variables (compétences et disponibilité). Une

tâche de soins peut appartenir à un ou plusieurs patients. Les APM peuvent recevoir simultanément plusieurs demandes de traitement des patients différents et c'est selon leurs disponibilités et le degré d'urgence des patients qu'ils vont suivre l'ordre de traitement des patients dans les différents box. Ce type particulier d'agent est doté de données, des états et un code et a un comportement intelligent. Une fois que l'APM réalise une tâche de soins sur un patient, il peut passer à une autre équipe pour l'exécution d'une nouvelle tâche de soins pour un autre patient. Par conséquent, l'agent AO doit tenir compte de cet aspect de mobilité lors de l'affectation de ressources humaines aux tâches. Chaque tâche de soins peut être effectuée par différents APM possibles, avec des durées différentes qui dépendent du niveau d'expérience du personnel médical concerné.

IV.4.7 Comportement de l'Agent Ordonnanceur

Cet agent doit optimiser l'ordonnancement des différentes tâches de soins des patients en tenant compte des différentes contraintes de notre système. Il doit affecter les ressources aux tâches de soins en minimisant le temps d'attente des patients.

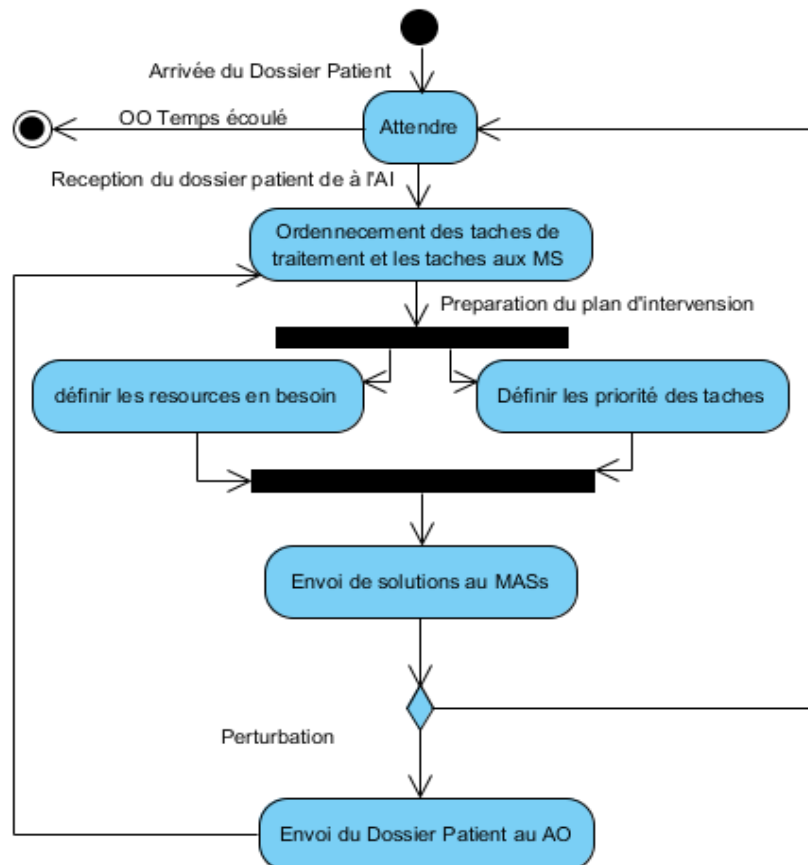


Figure IV-8 : Comportement de l'AO

Maintenant que nous avons présenté le comportement de chaque agent de notre système, nous allons nous focaliser dans ce qui suit sur l'intégration d'une Métaheuristique à base d'AE dans le comportement de l'AO afin d'optimiser l'ordonnancement des tâches de soins et lisser les pics d'activité lors des périodes de tension.

IV.5.1 Les différentes phases du comportement de l'AO

L'ordonnancement des tâches de soins à compétences multiples est un problème d'optimisation combinatoire NP-difficile. Il est donc plus judicieux d'utiliser une Métaheuristique basée sur les AE qui permet de donner à tout instant, un ensemble de bonnes solutions approchées qui ne sont pas nécessairement optimales (Ben Othman et al. 2015-d). Les solutions potentielles fournies par l'AE nécessitent impérativement la coordination des différents agents de notre système pour leur exploitation.

Le comportement de l'agent AO se base sur deux phases selon la taille du problème traité : Phase 1 pour les problèmes de petite et moyenne taille (exemple : $1 \leq N \leq 20$ et $\forall j, 1 \leq n_j \leq 5$) et phase 2 pour les problèmes de grande taille (exemple : $N \geq 20$ et $\forall j, n_j \geq 5$).

IV.5.1.1 AO : Phase 1

Pendant la première phase, une tâche doit être insérée dans un intervalle d'accueil du planning. Il s'agit d'un intervalle de temps disponible pour accueillir la totalité de la tâche sans empiéter sur les tâches voisines. Pour cela, l'AO recherche d'abord dans la liste du personnel médical disponible, les personnes qui ont la compétence nécessaire pour réaliser l'opération que l'on souhaite insérer dans cet intervalle d'accueil. De ce fait, l'AO constitue une équipe médicale ayant les compétences nécessaires pour effectuer cette opération. Si aucun intervalle d'accueil disponible ne peut accueillir l'opération de soins dans le planning en cours, l'AO peut permettre un élargissement de l'intervalle d'accueil le plus adéquat (cohérent en respectant les différentes contraintes et priorités (section IV.2)) en décalant les opérations se trouvant en aval de cet intervalle d'accueil. Si aucun intervalle d'accueil n'existe, deux cas de figures sont possibles : si l'opération n'est pas urgente, cette dernière sera placée à la fin de la séquence. Sinon, il y aura un décalage des opérations non prioritaires au profit de cette opération urgente. L'AO construit toujours le planning final en vérifiant sa cohérence. Toutefois si la date de début sélectionnée est éloignée de plus de trois heures de la dernière prise en charge du patient, ce dernier doit attendre. Une telle attente est nécessaire car, par exemple, l'étude des prélèvements biologiques prend souvent plus de deux heures pour être réalisée.

Après avoir attribué une tâche à un personnel médical, pour des questions d'adaptation au rythme de ce dernier, l'AO impose une période de repos de 20 minutes si, à la fin de la tâche, la dernière pause remonte à plus de 2 heures.

IV.5.1.2 AO: Phase 2

La phase 2 du comportement de l'agent AO est dédiée aux problèmes de grande taille. Dans ce cadre, nous avons choisi une Métaheuristique basée sur les AE pour trouver un ensemble de bonnes solutions (solution=chromosome) pour les problèmes d'ordonnancement des tâches de soins à compétences multiples.

Dans cette phase l'affectation et l'ordonnancement des opérations de soins sont faits d'une manière conjointe.

IV.5.2 Algorithme d'affectation

Il permet d'affecter chaque opération de soins au membre approprié du personnel médical en tenant compte de sa date disponibilité et sa charge de travail. Pour calculer la date de disponibilité de chaque personnel médical m_k une simple application de la logique floue est proposée. Le calcul est basé sur l'analyse des compétences, l'évolution de la tâche de soin en cours, l'évolution de l'état de santé du patient et la gravité de la pathologie. Ce sont les entrées floues. Ensuite, nous définissons pour chaque entrée trois sous-ensembles flous {"faible", "moyen" et "Haut"}. Chaque sous-ensemble est caractérisé par ses Fonctions d'Appartenance (FA) trapézoïdales qui dépendent de la variabilité des entrées. La définition des FA des variables ou inférence est basée sur les règles de décision en fonction de l'avis des experts et des données historiques (Ben Othman et al. 2015-c).

Exemple de règles:

Si (le personnel médical est "hautement qualifié") && (l'évolution de l'acte de soin en cours est "élevée") && (la pathologie est «grave») && (l'état de santé du patient est "amélioré") alors (le personnel médical est " hautement disponible »).

Le résultat qui est une valeur floue subit une défuzzification pour obtenir un nombre exact comme sortie finale en utilisant la méthode du centre de gravité. Pour l'affectation, nous choisissons d'affecter l'opération de soins au membre du personnel médical qui correspond à la valeur floue la plus élevée qui reflète son taux de disponibilité. Si deux membres du personnel médical ont la même valeur floue, nous faisons le choix tout en équilibrant la charge de travail entre tous les membres du personnel médical. Cette procédure d'affectation nous permet de construire un ensemble E d'affectations ($E = \{S^z / 1 \leq z \leq \text{cardinal}(E)\}$) et d'équilibrer la charge de travail du personnel médical. Chaque affectation est représentée dans une table S^z , $S^z = \{S^z_{i,j,k} / 1 \leq j \leq N; 1 \leq i \leq n_j; 1 \leq k \leq M\}$. Pour tout i, j, k , la valeur de $S^z_{i,j,k}$ peut prendre 0 ou 1. La valeur " $S^z_{i,j,k} = 1$ " signifie que $O_{i,j}$ est affectée à m_k . La valeur " $S^z_{i,j,k} = 0$ " signifie que $O_{i,j}$ ne peut pas être affectée à m_k .

Table IV-4 : Compétences du Personnel Médical

$$C = \{C_{i,j,k} / 1 \leq j \leq N; 1 \leq i \leq n_j; 1 \leq k \leq M\}$$

		m ₁	m ₂	m ₃	m ₄
P ₁	O _{1,1}	0.2	0.6	0.5	0.2
	O _{2,1}	0.4	0.9	0.3	0.2
	O _{3,1}	0.4	0.6	0.5	0.8
P ₂	O _{1,2}	0.5	0.2	0.2	0.5
	O _{2,2}	0.3	0.4	1	0.4
	O _{3,2}	1	0.2	0.3	0.3
P ₃	O _{1,3}	0.9	0.7	0.4	0.6
	O _{2,3}	0.5	0.6	0.9	0.2

Un plan d'ordonnancement possible en fonction des compétences du personnel médical est donné dans la Table IV-5. Nous considérons que l'affectation d'une opération $O_{i,j}$ de soins à un membre du personnel médical est possible lorsque la compétence $C_{i,j,k} \geq 0.5$.

Table IV-5 : Génération du schéma d'affectation S^z

$$S^z = \{ S^z_{i,j,k} / 1 \leq j \leq N ; 1 \leq i \leq n_j ; 1 \leq k \leq M \}$$

		m ₁	m ₂	m ₃	m ₄
P ₁	O _{1,1}	0	*	*	0
	O _{2,1}	0	1	0	0
	O _{3,1}	0	*	*	*
P ₂	O _{1,2}	*	0	0	*
	O _{2,2}	0	0	1	0
	O _{3,2}	1	0	0	0
P ₃	O _{1,3}	*	*	0	*
	O _{2,3}	*	*	*	0

La valeur " $S^z_{i,j,k} = 0$ " indique que le membre du personnel médical m_k n'est pas qualifié pour cette opération. La valeur " $S^z_{i,j,k} = 1$ " indique que l'affectation de l'opération $O_{i,j}$ au membre du personnel médical m_k est obligatoire car il est le seul dont $C_{i,j,k} \geq 0.5$, dans ce cas, on complète la ligne par des "0". Le symbole "*" indique que l'affectation est possible ($C_{i,j,k} \geq 0.5$).

IV.5.3 Algorithme Evolutionnaire

Le schéma d'affectation présenté dans le paragraphe précédent devient le modèle de chromosome de notre AE. Ce chromosome s'adapte bien aux propriétés et aux contraintes définies dans la section IV.2 et sert dans la construction des individus afin d'intégrer les bonnes propriétés et la bonne exécution des protocoles médicaux. Ayant un schéma de chromosome valide, les AE sont plus efficaces et plus rapides en construisant des solutions favorisant la reproduction des individus respectant les bons schémas. Dans le cas de problème d'ordonnancement qui nous préoccupe, la difficulté de la mise en œuvre de cette technique est importante car elle nécessite d'élaborer un codage bien particulier qui pourrait à la fois décrire les données du problème et exploiter la théorie du schéma.

Ci-dessous un exemple d'un schéma de chromosome caractérisé par $\{0, 1, *\}$.

Table IV-6 : Exemple de Chromosome

		m ₁	m ₂	m ₃	m ₄
P ₁	O _{1,1}	0	*	*	0
	O _{2,1}	0	1	0	0
	O _{3,1}	0	*	*	*
P ₂	O _{1,2}	*	0	0	*
	O _{2,2}	0	0	1	0
	O _{3,2}	1	0	0	0
P ₃	O _{1,3}	*	*	0	*
	O _{2,3}	*	*	*	0

Ce schéma de chromosome couvre l'ensemble de possibilités intéressantes pour affecter les opérations de soins. Cependant, il présente des interdictions qui peuvent parfois être coûteuses en termes de charge du personnel médical. Toutefois les affectations appartenant à ce modèle ne garantissent pas une solution optimale en termes de répartition de charges. Certaines affectations peuvent être écartées par les AE quand elles n'amènent pas à des bonnes solutions. En effet, pendant la phase de la reproduction, si l'individu ne respecte pas

le schéma de chromosome il est automatiquement écarté. Une telle approche permet de restreindre l'espace de recherche qui va accélérer la convergence de l'algorithme et assurer des solutions de bonne qualité.

IV.5.3.1 Opérateurs de croisement

Ces opérateurs servent à explorer l'espace de recherche et diversifier la population en échangeant l'information entre 2 individus par l'utilisation d'un masque. L'algorithme de croisement est le suivant:

Algorithme de Croisement

- Sélectionner aléatoirement 2 parents S^1 et S^2 ;
- Sélectionner aléatoirement 2 entiers j et j' tel que $j \leq j' \leq N$;
- Sélectionner aléatoirement 2 entiers i et i' tel que $i \leq n_j$ et $i' \leq n_{j'}$ (dans la case où $j=j'$, $i \leq i'$) ;
- L'affectation dans f^1 doit correspondre à la même affectation dans S^1 pour l'ensemble d'opérations de la ligne (i,j) et (i',j') ;
- Le reste de l'affectation dans f^1 doit correspondre à la même affectation dans S^2 ;
- L'affectation dans f^2 doit correspondre à la même affectation dans S^2 pour l'ensemble d'opérations de la ligne (i,j) et (i',j') ;
- Le reste de l'affectation dans f^2 doit correspondre à la même affectation dans S^1 ;
- Mise à jour des dates de début d'exécution;

Exemple

Supposons que S^1 et S^2 ont été choisies et que $j=1, j'=2, i=2, i'=2$. f^1 et f^2 ont été générés en appliquant l'algorithme de croisement.

S^1		m_1	m_2	m_3	m_4
P 1	$O_{1,1}$	*	0	1	0
	$O_{2,1}$	0	1	*	0
	$O_{3,1}$	*	1	*	0
P 2	$O_{1,2}$	*	*	0	1
	$O_{2,2}$	0	0	1	0
	$O_{3,2}$	1	0	*	*
P 3	$O_{1,3}$	0	0	0	1
	$O_{2,3}$	1	*	*	0

S^2		m_1	m_2	m_3	m_4
P 1	$O_{1,1}$	1	0	*	0
	$O_{2,1}$	0	*	1	0
	$O_{3,1}$	1	*	*	0
P 2	$O_{1,2}$	1	*	0	*
	$O_{2,2}$	0	0	1	0
	$O_{3,2}$	*	0	1	*
P 3	$O_{1,3}$	0	0	0	1
	$O_{2,3}$	*	1	*	0

f^1

f^2

f^1		m_1	m_2	m_3	m_4
P 1	$O_{1,1}$	*	0	1	0
	$O_{2,1}$	0	*	1	0
	$O_{3,1}$	1	*	*	0
P 2	$O_{1,2}$	1	*	0	*
	$O_{2,2}$	0	0	1	0
	$O_{3,2}$	1	0	*	*
P 3	$O_{1,3}$	0	0	0	1
	$O_{2,3}$	1	*	*	0

f^2		m_1	m_2	m_3	m_4
P 1	$O_{1,1}$	1	0	*	0
	$O_{2,1}$	0	1	*	0
	$O_{3,1}$	*	1	*	0
P 2	$O_{1,2}$	*	*	0	1
	$O_{2,2}$	0	0	1	0
	$O_{3,2}$	*	0	1	*
P 3	$O_{1,3}$	0	0	0	1
	$O_{2,3}$	*	1	*	0

IV.5.3.2 Opérateurs de Mutation

La mutation est un opérateur asexué qui n'a besoin que d'un seul chromosome pour générer un chromosome enfant. Ces opérateurs permettent de garder l'aspect aléatoire dans l'évolution de la population afin d'éviter la convergence prématurée. Dans notre cas, les opérateurs de mutation sont contrôlés pour pouvoir favoriser l'amélioration des critères considérés. Pour cela nous avons implémenté plusieurs opérateurs de mutation : mutation contrôlée de séquençement, mutation contrôlée d'affectation, mutation contrôlée équilibrant la charge du personnel médical et mutation contrôlée réduisant la durée de passage du patient au SUP.

Ci-dessous 2 algorithmes d'opérateurs de mutation :

Mutation contrôlée réduisant la durée de passage du patient au SUP

- Sélectionner aléatoirement un individu S ;
- Choisir une tâche de soin correspondant à un patient j avec le plus grand C_{max} : $(\text{Max}_j \{C_{maxj} \text{ avec } C_{maxj} = \sum_i \sum_k S_{i,j,k} \cdot d_{i,j,k}\})$;
- $i=1$; $r=0$;
- **Tant que** ($i \leq n_j$ et $r=0$)
 - trouver k_0 tel que $S_{i,j,k_0}=1$;
 - **Pour** ($k=1, k \leq M$)
 - Si** ($d_{i,j,k} < d_{i,j,k_0}$) **alors** $\{S_{i,j,k_0}=0; S_{i,j,k}=1; r=1\}$
 - Fin si**
 - **Fin pour**
 - $i=i+1$;
- Fin**
- Mise à jour de dates de début d'exécution

Mutation contrôlée équilibrant la charge du personnel médical

- Sélectionner aléatoirement un individu S ;
- Trouver le membre du personnel médical avec la charge de travail la plus élevée M_{k1} $(\text{Max}_k \{W_k / W_k = \sum_i \sum_j S_{i,j,k} \cdot d_{i,j,k}\})$;
- Trouver le membre du personnel médical avec la plus faible charge de travail M_{k2} $(\text{Min}_k \{W_k\})$;
- Sélectionner aléatoirement une opération $O_{i,j}$ tel que $S_{i,j,k1}=1$;
- Affecter cette opération au membre du personnel médical avec la plus faible charge de travail:
 - $S_{i,j,k1}=0$;
 - $S_{i,j,k2}=1$;
- Mise à jour des dates de début d'exécution

IV.5.3.3 Opérateurs de sélection

Après le croisement, la taille de la population augmente. En effet, nous ajoutons à nos chromosomes parents leurs chromosomes enfants. Il faut alors sélectionner les chromosomes qui feront partie de la nouvelle population.

Pour ce faire, l'ensemble des chromosomes doit être évalué. Pour chaque solution, nous devons calculer sa force (*fitness*) et la normaliser (la mettre sous forme d'un pourcentage de la force totale). Sélectionner les solutions les plus fortes n'assure pas forcément une assez grande diversité de solutions dans la population, et sélectionner aléatoirement nous priverait peut-être de bonnes solutions. Nous avons donc choisi de sélectionner un pourcentage des meilleures solutions, puis de choisir celles qui restent à la roulette (leur probabilité de sélection correspond à leur force normalisée). Ainsi nous assurons une sélection forte et variée.

Dans la section suivante, nous allons présenter la méthode adoptée pour l'évaluation de la fonction *fitness*.

IV.6 Approche agrégative dynamique pour l'évaluation de la fonction fitness

Nous utilisons une approche agrégative avec des poids dynamiques pour évaluer la qualité des solutions:

$F_{fitness}(x) = \sum_{q=1}^{q=L} w_q \cdot f_q(x)$ avec w_q le poids de la $q^{ième}$ fonction objectif, L le nombre total des critères et $w_q \in [0,1] \forall 1 \leq q \leq L$. La somme des poids est égale 1.

Le calcul de la fonction fitness globale est basé sur la génération dynamique des poids w_q ($1 \leq q \leq L$) par la logique floue $f_g(x) = \sum_{q=1}^{q=L} w_q \cdot \mu_q^G(f_q(x))$ avec $\mu_q^G(\cdot)$ la fonction d'appartenance d'un critère à un sous ensemble flou.

L'idée est de mesurer à chaque itération k la qualité moyenne des solutions selon chaque critère et sa borne inférieure.

Soit \bar{f}_q^k la moyenne des valeurs de l'ensemble des critères pour une population Pop_k de

$$\text{solutions : } \bar{f}_q^k = \frac{\sum_{x \in Pop_k} f_q^k(x)}{\text{cardinal}(Pop_k)}$$

L'évaluation des critères est basée sur les fonctions d'appartenance (Figure IV-10). 2 sous-ensembles flous sont ainsi définis:

- $Near_q$: le sous-ensemble des solutions proches de la borne inférieure f_q^* selon la $q^{ième}$ fonction objectif,

- Far_q : le sous-ensemble des solutions loin de la borne inférieure f_q^* selon la $q^{ième}$ fonction objectif.

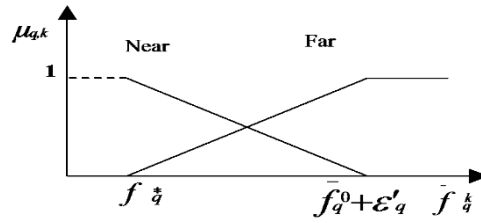


Figure IV-10 : Les fonctions d'appartenance pour la fonction objectif

A chaque itération k , les fonctions d'appartenance sont formulées comme suit:

$$\mu_{q,k}^{Far}(\bar{f}_q^k) = \frac{\bar{f}_q^k - f_q^*}{\bar{f}_q^0 - f_q^* + \varepsilon'_q} \text{ si } \bar{f}_q^k \in [f_q^*, \bar{f}_q^0 + \varepsilon'_q]; \text{ sinon } \mu_{q,k}^{Far}(\bar{f}_q^k) = 0$$

où ε'_q une petite valeur positive pour résoudre le problème de division par zéro (quand $\bar{f}_q^0 = f_q^*$). $\varepsilon'_q = 0.01 \cdot f_q^*$ si $\bar{f}_q^0 = f_q^*$; sinon $\varepsilon'_q = 0$

Le calcul des poids w_q^{k+1} est fait en appliquant les règles floues:

Si (\bar{f}_q^k est proche de f_q^*) alors ($w_q^{k+1} \downarrow$),

Si (\bar{f}_q^k est loin de f_q^*) alors ($w_q^{k+1} \uparrow$).

$$\text{Ainsi, } w_q^1 = \frac{1}{L} \quad \forall 1 \leq q \leq L; \quad w_q^{k+1} = \frac{\mu_{q,k}^{Far}(\bar{f}_q^k)}{\sum_{q=1}^L \mu_{q,k}^{Far}(\bar{f}_q^k)} \quad \forall 1 \leq q \leq L \text{ et } \forall 1 \leq k \leq Q-1 \quad (\text{IV-5})$$

où Q est le nombre des itérations.

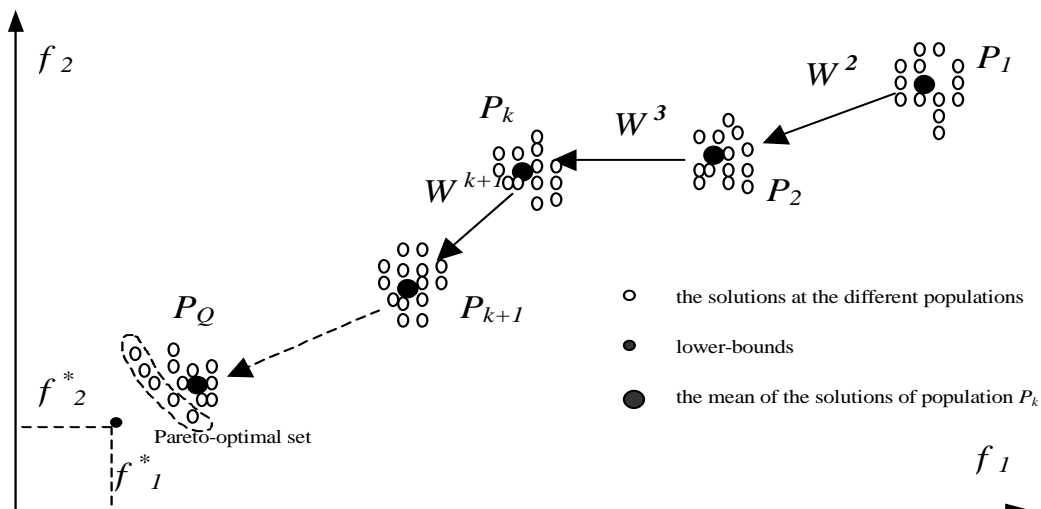


Figure IV-11 : Contrôle dynamique flou des directions de recherche

Le vecteur des différents poids ($W^1, W^2, \dots, W^k, \dots, W^Q$) est calculé d'une manière dynamique, en évoluant de la $k^{ième}$ génération P_k à la génération P_{k+1} en fonction de la distance entre les bornes inférieures et la moyenne des individus de la génération P_k (indiqué par un cercle noir dans la Figure IV-11). L'objectif est d'explorer les améliorations possibles des solutions. La priorité est donnée à l'optimisation des fonctions objectif dont les valeurs moyennes est loin de la valeur optimale (ou la valeur de la borne inférieure). Par la suite, tout en utilisant cette technique floue, il serait possible de contrôler la direction de recherche pour construire un ensemble final de solutions proches de la solution optimale. Cet ensemble final est utilisé pour sélectionner des solutions optimales au sens de Pareto et les autres seront rejetées.

Cette approche agrégative permet de donner une solution d'ordonnancement représentant un bon compromis entre les différents critères. L'ordonnancement ainsi établi propose un GANTT du personnel médical et un ordre de passage entre les opérations optimisées. Mais cet ordonnancement, bien qu'il soit optimisé, ne permet pas de tenir compte de l'évolution de l'état de santé des patients notamment suite à un examen biologique, IRM, radio, etc. De ce fait, pour que cet ordonnancement soit efficace il faut qu'il soit couplé avec une approche d'orchestration dynamique du parcours patient afin d'améliorer encore les critères en cours d'exécution. Nous avons donc besoin d'une architecture globale d'orchestration dynamique du workflow modélisant le parcours patient basée sur les agents qui sera présentée dans la section suivante où nous allons mettre l'accent sur l'alliance entre l'approche multi-agent et le Workflow pour réaliser une orchestration dynamique au profit d'une prise en charge de qualité au SUP.

IV.7 Orchestration du Workflow

IV.7.1 Définitions et concepts

L'orchestration informatique se base sur une intelligence inhérente avec un contrôle implicitement autonome. Elle est utilisée pour gérer les processus de coordination avec des échanges d'information à travers l'interaction de services et correspond à l'automatisation de systèmes déployant des éléments de régulation. L'orchestration permet ainsi d'organiser d'une manière dynamique, collaborative et distribuée un ensemble de tâches nécessitant des ressources humaines et matérielles. Elle fournit la bonne information au bon moment à la bonne ressource, afin que l'ensemble du travail soit réalisé efficacement suivant un Workflow. L'orchestration décrit donc le processus automatique d'organisation, de coordination servicielle et de gestion des systèmes d'information complexes.

IV.7.2 L'orchestration en santé

L'orchestration en santé est un moyen innovant qui permet d'optimiser l'ordonnancement de prise en charge des patients en temps réel. En effet, l'orchestration dépend du résultat de chaque tâche dans le processus de prise en charge (exemple : radio, IRM, consultations, etc.). Cette orchestration permet de coordonner et gérer les processus et les services de soins

modélisés par le Workflow. Elle est particulièrement importante dans les SU car elle permet de faire une exécution contrôlée du Workflow modélisant les parcours patient dans ces services.

Dans la littérature, les travaux de recherche de Meli et al. (2014) permettent de mettre en lumière l'intérêt de l'orchestration dynamique des flux de soins pour réduire en cours d'exécution les critères Cr_1 , Cr_2 , Cr_3 et Cr_4 , ce qui revient à réduire le temps d'attente des patients, réguler leur débit et lisser la charge de travail du personnel médical. De plus, ces analyses permettent aux logisticiens dans les établissements de santé de pouvoir diminuer les surcoûts liés aux tensions et d'avoir une meilleure vision des ressources dont disposent les services comme le SUP. Nous pouvons résumer les atouts de l'orchestration en santé comme suit :

- La coordination des différents flux patients pour réduire de manière significative les délais de soins et d'attente,
- La fiabilisation de l'ensemble des processus des soins et des tâches à forte occurrence et à compétences multiples : trouver le bon personnel ayant la bonne compétence au bon moment pour le bon patient,
- La supervision des ressources humaines et matérielles allouées au patient en informant ce dernier sur le taux de disponibilité de ces ressources et sur les protocoles de soins envisagés.
- L'attribution d'un service de soins au bon patient en tenant compte de la disponibilité des ressources,
- Le pilotage et le suivi du parcours patient en modifiant en temps réel son orientation selon son état de santé et des résultats des soins.

IV.7.3 Architecture de l'orchestration dynamique

Pour que le système de gestion du SUP présenté précédemment (formulation, workflow, agents, etc.) soit évolutif, nous proposons une architecture à 3 couches qui permet l'ajout de nouvelles contraintes, de nouveaux critères et des variables de décision. Cette architecture permet aussi l'ajout d'un agent logiciel ou agent physique (par exemple : recrutement d'une nouvelle infirmière).

L'idée de cette architecture est d'identifier une situation logistique de référence par des modèles mathématiques et algorithmiques. En cas de perturbation de l'environnement associé à la situation logistique réelle du SUP, l'architecture à 3 couches nous permet grâce à *l'optimisation collaborative* entre les agents de la 2^{ème} couche et l'orchestration dynamique du workflow, d'atteindre le plus rapidement possible le fonctionnement normal du SUP en cas de tension.

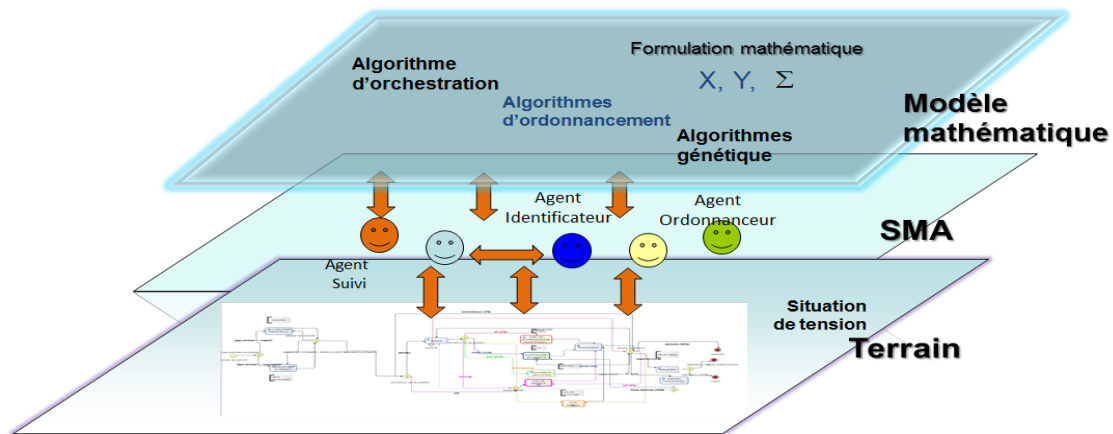


Figure IV-12 : Architecture d'Orchestration dynamique

Cette architecture est composée de :

- **Une 1^{ère} couche** composée des modèles mathématiques et algorithmiques (section IV.2) permettant de caractériser une situation normale du SUP.
- **Une 2^{ème} couche** basée sur des agents communicants (section IV.4) permettant d'identifier la situation réelle du terrain, en cas de tension la situation normale du SUP devrait être atteinte grâce à un processus d'optimisation collaborative entre les agents.
- **Une 3^{ème} couche** « terrain » représentant la situation du fonctionnement réel du SUP modélisé par un workflow (chapitre III).

Cette architecture, qui est innovante et générique, se base sur des agents communicants représentant les différents acteurs de la chaîne logistique qui sont en liaison directe avec ce qui se passe sur le terrain. Ces agents scrutent en continu les informations de la couche terrain en comparant la situation réelle à la situation logistique de référence. En fonction de ces informations ainsi que des divers modèles mathématiques à disposition (1^{ère} couche), ces agents vont devoir adapter leurs rôles et leurs comportements afin de réagir au mieux aux différentes perturbations du terrain, dans le but d'atteindre le plus rapidement possible une situation logistique de référence.

Dans ce cadre, nous choisissons comme couche terrain le Workflow modélisant le parcours patient dans le SUP (Figure IV-13). La couche « agent » de cette architecture joue le rôle d'un chef d'orchestre grâce l'interaction de ses agents pour accompagner efficacement la prise en charge des patients dans le SUP.

IV.7.4 Evaluation des performances de l'orchestration dynamique

L'évaluation de performance de l'orchestration se mesure par la satisfaction des critères Cr_1 , Cr_2 , Cr_3 et Cr_4 en cours d'exécution du workflow. En effet, chaque critère est évalué en orchestrant le workflow d'une manière statique (où l'ordre des tâches de soins reste inchangé pendant la totalité d'exécution) et d'une manière dynamique. Pour chaque type

d'orchestration, nous calculons la valeur moyenne de chaque critère pour un certain nombre de patients pendant la période de simulation.

Soit GCr_i le gain correspondant au critère Cr_i pour une orchestration dynamique du workflow $WD(Cr_i)$ par rapport à une orchestration statique $WS(Cr_i)$.

$$GCr_i = \frac{WD(Cr_i) - WS(Cr_i)}{|WS(Cr_i)|} \times 100 \quad (IV-6)$$

Si $GCr_i < 0$ alors Cr_i a été amélioré pour une orchestration dynamique,

Si $GCr_i > 0$ alors Cr_i a subi une dégradation pour une orchestration dynamique par rapport à une orchestration statique,

Si $GCr_i = 0$ alors il n'y a aucune modification dans les valeurs des critères.

IV.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une formulation mathématique des critères, contraintes et variables de décision qui tiennent compte du fonctionnement réel du SUP. Une architecture multi-agent a été proposée pour assurer une gestion collaborative entre les différents acteurs de l'établissement de santé concerné. Nous avons intégré dans le comportement de ces agents des algorithmes d'optimisation capables d'ordonnancer et d'orchestrer le workflow du parcours patient. Les différentes approches ont été regroupées dans une architecture à 3 couches assurant l'évolutivité du système implémenté. Des résultats de simulation utilisant des bases de données réelles du SUP et prouvant l'intérêt des approches proposées seront présentés dans le chapitre V.

CHAPITRE V. Simulations et Résultats

V.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats de simulations de notre approche de résolution proposée issus de la base de données 2011-2012-2013 (Figure V-1) réelle et anonyme. Ces données sont collectées suite aux plusieurs visites au SUP du CHRU de Lille. Tout d'abord, nous présentons une analyse fine de ces données suivie des résultats de la simulation du parcours patient par l'approche Workflow afin d'identifier les indicateurs pertinents de la tension. Par la suite, nous nous sommes focalisés sur l'alliance entre une Métaheuristique et les SMA pour fournir un ordonnancement optimisé des tâches de soins. Enfin, des courbes de résultats sont présentées pour démontrer l'intérêt de l'orchestration dynamique de Workflow par l'AO.

V.2 Analyse des données

Le SUP nous a fourni des données réelles collectées sur une durée de 3 ans : 2011-2012-2013. Pendant cette période, nous avons noté 47188 visites, 19 % de ces patients ont été hospitalisés dans l'UHCD, le reste concerne 81 % des patients de l'Unité des Soins Externes (USE).

number	Arrival Date	Exit Date	duration	MD	diagnostique	echographie	scanner	radiologie	biologie	nbreTests	codeN
69453	28/11/2013 08:13:00	28/11/2013 13:18:00	305	3091	Autres pneumopathies bactériennes	0	0	0	0	0	
69454	28/11/2013 08:19:00	28/11/2013 16:44:00	505	3091	Gale	0	0	1	1	2	
69455	28/11/2013 08:33:00	28/11/2013 08:35:00	2	3092	Intoxication par autres analgésiques	0	0	0	0	0	
69456	28/11/2013 09:14:00	28/11/2013 12:25:00	191	3091	Fractures multiples des méta-	0	0	0	0	0	
69457	28/11/2013 09:27:00	28/11/2013 15:41:00	374	3091	Gastroentérites et colites d'origine	0	0	1	1	2	
69458	28/11/2013 09:31:00	28/11/2013 14:30:00	299	3091	Nausées et vomissements	0	0	0	1	1	
69459	28/11/2013 09:34:00	28/11/2013 14:24:00	290	3091	Morsure de la joue et de la lèvre	0	0	1	0	1	
69460	28/11/2013 09:34:00	28/11/2013 11:57:00	143	3091	NA	0	0	0	0	0	
69461	28/11/2013 09:40:00	28/11/2013 11:19:00	99	3092	Autres difficultés liées à l'em-	0	0	0	0	0	
69462	28/11/2013 09:42:00	28/11/2013 14:57:00	315	3091	Contusion de(s) doigt(s) sans	0	1	0	0	1	
69463	28/11/2013 09:59:00	29/11/2013 09:59:00	1440	3092	Laryngite (aiguë)	0	0	0	0	0	
69464	28/11/2013 10:13:00	28/11/2013 13:02:00	169	3091	Malaise	0	0	0	0	0	
69465	28/11/2013 10:14:00	28/11/2013 11:36:00	82	3092	Diabète sucré insulino-dépendant	0	0	0	0	0	
69466	28/11/2013 10:21:00	28/11/2013 13:43:00	202	3091	Asthme, sans précision	0	0	0	0	0	
69467	28/11/2013 10:35:00	29/11/2013 10:16:00	1421	3092	Gastroentérites et colites d'origine	0	0	0	0	0	
69468	28/11/2013 10:50:00	28/11/2013 17:27:00	397	3091	Pyélonéphrite (non obstructive)	0	0	0	1	1	
69469	28/11/2013 10:52:00	28/11/2013 14:27:00	215	3091	Autres conjonctivites	0	0	0	0	0	
69470	28/11/2013 10:59:00	28/11/2013 15:07:00	248	3091	Inquiétude et préoccupation	0	0	1	1	2	
69471	28/11/2013 11:02:00	28/11/2013 20:14:00	552	3091	Plaie ouverte d'autres parties	0	0	1	0	1	
69472	28/11/2013 11:05:00	28/11/2013 15:21:00	256	3091	Bronchiolite (aiguë), sans pré-	0	0	0	0	0	
69473	28/11/2013 11:07:00	28/11/2013 15:54:00	287	3091	Bronchiolite (aiguë), sans pré-	0	0	0	0	0	
69474	28/11/2013 11:15:00	28/11/2013 15:05:00	230	3091	Rhinopharyngite (aiguë) [rhu]	0	0	1	1	2	
69475	28/11/2013 11:32:00	28/11/2013 23:02:00	690	3092	Convulsions, autres et non pr	0	1	0	1	2	
69476	28/11/2013 11:47:00	28/11/2013 14:57:00	190	3091	Rhinopharyngite (aiguë) [rhu]	0	0	0	1	1	
69477	28/11/2013 11:50:00	28/11/2013 15:19:00	209	3091	Hernie inguinale, (unilatérale)	0	0	0	0	0	
69478	28/11/2013 11:58:00	28/11/2013 17:54:00	356	3091	Rhinopharyngite (aiguë) [rhu]	0	0	1	0	1	
69479	28/11/2013 12:12:00	28/11/2013 17:11:00	299	3091	Douleur aiguë	0	0	1	0	1	
69480	28/11/2013 12:30:00	28/11/2013 16:43:00	253	3091	Néphrite tubulo-interstitielle	0	0	1	0	1	
69481	28/11/2013 12:36:00	28/11/2013 18:28:00	352	3091	Entorse et foulure de la chevi	0	0	0	0	0	
69482	28/11/2013 12:46:00	28/11/2013 15:44:00	178	3091	Malaise	0	0	0	0	0	

Figure V-1 : Extrait de la base de données 2011-2012-2013 du SUP

Suite aux nombreuses visites du SUP, nous avons remarqué que la deuxième population est responsable de la génération de tension au SUP. Généralement, la durée du séjour des patients à l'USE ne dépasse pas les 8 heures sinon ils sont transférés à l'UHCD.

Afin d’avoir une vision objective sur les raisons de ces zones de tension, les bases de données fournies par le SUP répertorient tous les patients inscrits aux Urgences, leurs pathologies, leur niveau de gravité, le temps de passage dans ce service ainsi que les examens qui leur ont été attribués. A partir de cette base de données nous avons pu cerner quelques caractéristiques liées au parcours patient au SUP telles que le nombre annuel moyens des visites qui a atteint 25 000, le nombre de fois où la place du patient a été changée au cours de son séjour au SUP (5,5 fois) et la durée d’attente moyenne des patients qui représente une donnée clé pour l’analyse du phénomène de tension et est de l’ordre de 2 heures, y compris les examens supplémentaires et l’attente des résultats.

Selon les données recueillies, nous avons constaté que le flux de patients se rendant au SUP est totalement aléatoire. Cependant, une analyse approfondie de l’évolution des flux de patients reflète un aspect cyclique et redondant dans les périodes d'apparition des tensions. En effet, le phénomène aléatoire d'arrivée des patients au SUP ne suit aucune loi de variation standard mais il peut être en partie influencé par l'heure et la période d'arrivée ainsi que certains évènements épidémiques. Par exemple, nous avons pu remarquer que la période hivernale est très chargée et génératrice de tension par rapport à la période d'été, en particulier les mois de Novembre à Février. Cela est dû à l’accroissement des maladies infectieuses comme la gastro-entérite, la bronchiolite ou la grippe. Le flux des patients peut aussi varier en fonction des périodes de la journée. Ainsi, le service est considéré être surchargé entre 18 h 00 et minuit, avec des arrivées intensives des patients vers 18 h 00, puis 20 h 00 et enfin de 23 h 30 jusqu’à 00 h 00. Ces pics sont dus au fait que les patients sont des enfants qui viennent avec leurs parents dans l'après-midi, après l'école et après le travail.

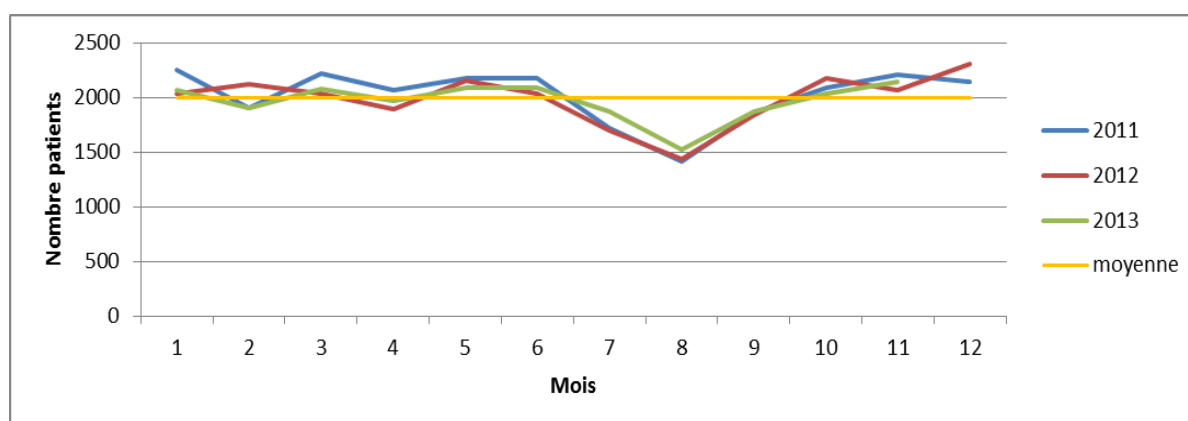


Figure V-2 : Nombre Total des patients par mois

La Figure V-2 montre l’évolution du nombre total de patients au SUP par mois durant les 3 ans d’étude. Les 3 courbes évoluent autour de la moyenne pour mesurer les hausses et les baisses de la demande.

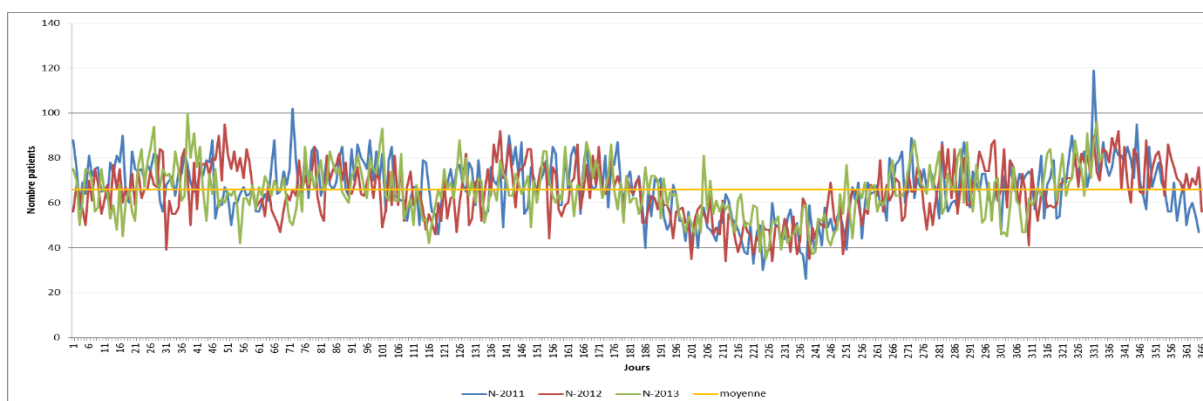


Figure V-3 : Nombre Total des patients par jour

En raffinant l'horizon à un jour dans la Figure V-3, le phénomène de variation du flux patients devient moins stable en raison de l'apparition des oscillations qui ont été précédemment absorbées par des vues plus macros. Nous remarquons aussi la présence de quelques pics journaliers. Les 3 pics les plus importants durant la période concernée sont notés par 119 patients le 27/11/2011, 97 patients le 19/02/2012 et 100 patients le 07/02/2013 étant donné que la moyenne quotidienne est de 66 patients.

V.2.1 Le triage des patients

Après l'enregistrement au service d'accueil des Urgences, les patients vont être pris en charge par une I.A.O. Par souci d'organisation, l'I.A.O a été mise en place pour trier et hiérarchiser les patients en fonction de leur niveau de gravité et de la prise en charge nécessaire à cet effet. C'est selon l'Echelle de Triage et de Gravité (ETG) canadienne, que ce niveau de priorité est généralement utilisé en France (Tableau V-1):

Tableau V-1 : Délai de prise en charge en fonction du niveau de gravité de la pathologie du patient (CCMU) selon ETG canadienne

Niveau de triage	I	II	III	IV	V
Délai de prise en charge	120 min	60 min	30 min	15 min	immédiat

Le niveau I correspond au cas de gravité le moins important et le niveau IV au cas de gravité le plus grave (Exemple : réanimation). Le triage des patients s'effectue en fonction du niveau de gravité de la pathologie (CCMU) détaillé dans le chapitre III.

Les données transmises ne prennent pas en compte les CCMU P et D, car comme nous sommes au niveau pédiatrique, il est très rare que des cas comme ceux-ci se présentent. Nous nous intéresserons donc aux niveaux 1, 2, 3, 4 et 5.

L'objectif de l'ETG est de définir le délai souhaitable entre l'arrivée du patient et l'évaluation médicale. Les délais prescrits sont idéaux, mais ne constituent pas des normes de soins acceptées ou validées. Néanmoins, les Urgences en France essaient de tendre vers ces résultats car ils permettraient d'avoir une meilleure régulation des Urgences voire d'éviter

parfois des zones de tension. De plus, des dépassements fréquents de ces objectifs de délai suggéreraient par exemple que des changements doivent être apportés à l'organisation du système ou du processus de soins. En fin, après avoir analysé de nombreuses études et recueilli les issus des rencontres avec les médecins aux Urgences, nous avons constaté que les niveaux de gravité peuvent changer au cours de la prise en charge des patients ce qui peut entraîner une modification de l'ordonnancement des patients.

V.2.2 Nombre de patients aux Urgences

Cette première donnée nous indique le nombre de patients venus aux Urgences pour les années 2011, 2012 et 2013 en fonction de leur état de gravité.

Tableau V-2 : Nombre de patients selon leur état de gravité

CCMU	1	2	3	4	5	Inconnu	total
Nombre de patients selon leur état de gravité pendant l'année 2011	7268	14470	1153	76	24	159	23150
Nombre de patients selon leur état de gravité pendant l'année 2012	7455	14760	1379	86	19	339	24038
Nombre de patients selon leur état de gravité pendant l'année 2013	5702	14126	1536	93	20	3162	24639

D'après le Tableau V-2, on se rend compte très vite que la répartition des patients par niveau de gravité est très hétérogène. En effet, il est clair que le niveau 2 est la classe la plus élevée en nombre de patients, car elle représente environ 62,6 % des patients pour la période 2011-2012, et 65,8 % des patients en 2013. Ensuite il y a le niveau 1 qui représente 31,5 % des patients pour 2011-2012 et 26,5 % en 2013. On peut donc affirmer que les niveaux de gravité les plus faibles, c'est à dire 1 et 2 représentent la majeure partie des patients dans le service pédiatrique de Lille (environ 93,1 % sans prendre en compte les inconnus, qui pourraient alors ne faire qu'augmenter ce pourcentage). Le niveau 3, quant à lui, qui est un niveau médian (entre pronostic stable et pronostic engagé), représente environ 6 % des patients hospitalisés aux Urgences pédiatriques entre 2011 et 2013. Enfin, les niveaux 4 et 5, qui sont les niveaux de gravité les plus élevés dont le pronostic vital est engagé, ne représentent que 0,46 % de la population inscrite pour la période 2011-2013.

Un certain nombre d'inconnus ne permet pas d'avoir une exactitude des résultats précédents, néanmoins ce nombre est minime comparé au nombre total des patients inscrits aux Urgences en fonction de leur niveau de gravité et permet de donner une bonne idée sur le nombre total des patients qui sont au SUP.

V.2.3 Temps de passage

Les résultats trouvés pour les temps de passage moyen en fonction du niveau de gravité des patients sont représentés dans le Tableau V-3 :

Tableau V-3 : Temps de passage moyen (en min) en fonction de l'état de gravité des patients

CCMU	1	2	3	4	5
Le temps de passage moyen en fonction du niveau de gravité pendant l'année 2011	128	282	677	611	444
Le temps de passage moyen en fonction du niveau de gravité pendant l'année 2012	140	273	651	484	357
Le temps de passage moyen en fonction de leur niveau de gravité pendant l'année 2013	129	258	585	498	478

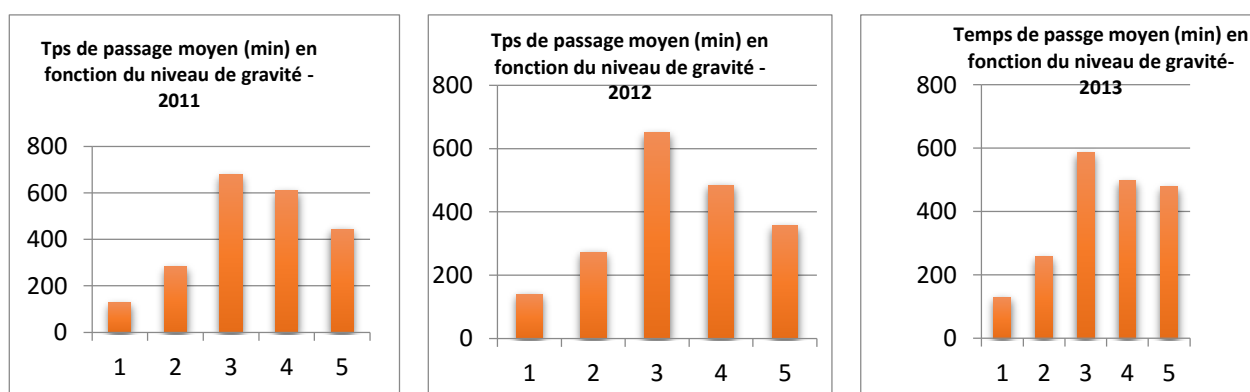


Figure V-4 : Temps de passage moyen (en min) en fonction du niveau de gravité (CCMU) – 2011-2012-2013

Tout d'abord, on se rend compte que selon le niveau de gravité, le temps moyen de passage des patients dans le service pédiatrique du CHRU de Lille varie. En effet, celui du niveau 1, où le patient est jugé en état clinique stable n'est que de 132 min (moyenne des trois années), alors que pour le niveau 3, où le patient est en état lésionnel et/ou son état peut s'aggraver, a le temps de passage le plus élevé qui est de l'ordre de 638 min (moyenne des trois années).

Comme nous l'avons vu précédemment, l'ETG canadienne considère le temps d'attente entre l'arrivée du patient (visite I.A.O) et l'évaluation médicale. Cependant pour le niveau 1, qui se traduit par un examen clinique simple, les patients arrivant aux Urgences s'inscrivent dans le service (la loi prévoit pour cela un délai maximum de 30 min mais les Urgences essayent de respecter un temps inférieur d'environ 10 min), rencontrent l'I.A.O (max 15 min), attendent un délai maximum de 120 min (selon l'ETG, le temps passé à l'accueil est inférieur à 10 min et celui passé avec l'I.A.O est d'environ 15 min) et consultent le médecin (max 20 min) avant de sortir. Tout ce processus devrait donc, selon le protocole médical, se réaliser en un maximum de temps de 140 min. Cependant, nous nous apercevons que, dans un premier temps les Urgences pédiatriques ont un temps de passage moyen de 132 min pour la période 2011-2013. De même, pour le niveau 2, le délai d'attente entre l'arrivée du patient et le diagnostic médical ne devrait être que de 60 min. Ce premier délai sera suivi de la consultation avec le

médecin ne dépassant pas 20 min. Puis, si on se réfère au CCMU 2, un acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique est nécessaire avant de sortir. Ainsi, selon le protocole médical, la durée totale de prise en charge pour le CCMU 2 ne devrait donc pas excéder 130 min (60 min + 20 min + délai de prise en charge diagnostique ou thérapeutique (environ 30 min) + acte diagnostique ou thérapeutique qui dure au maximum 20 min). Mais nous remarquons que dans la base de données réelle du SUP la durée moyenne du temps de passage sur la période 2011-2013 est nettement supérieure à celle prévue, car elle est de 271 min. Pour le CCMU 3, nous remarquons que le temps de passage moyen dépasse les 10 h. De même pour les patients ayant des CCMU 4 et 5, les temps de passage moyens sont relativement élevés. Pourtant, les délais d'attente de ces patients sont quasi nuls. Nous supposons donc que de nombreux actes sont réalisés pour des patients de ces niveaux de gravité ce qui engendre la monopolisation des ressources personnel médical. Dans ce cas, le personnel médical peut être indisponible pour traiter des patients ayant des pathologies moins graves. Ces patients sont alors confrontés à des longs délais d'attente augmentant le risque de se retrouver face à une situation de tension.

Nous allons donc étudier d'autres données de la base fournie par le SUP afin de mieux comprendre l'origine de ces temps d'attente.

V.2.4 Statut des consultations

L'une des données qui peut nous faire mieux comprendre l'augmentation du temps de passage est le statut de consultation des patients en fonction de leur état de gravité.

Tableau V-4 : Statut de consultation des patients en fonction de leur état de gravité

Statut de consultation des patients en fonction de leur état de gravité-2011	CCMU	1	2	3	4	5	inconnu	total
	Médical	5825	9104	875	64	19	67	15954
	Chirurgical	1209	4999	265	12	5	22	6512
	Inconnu	234	367	13	0	0	70	684
	total	7268	14470	1153	76	24	159	23150
Statut de consultation des patients en fonction de leur état de gravité-2012	CCMU	1	2	3	4	5	inconnu	total
	Médical	5881	8790	897	59	16	130	15733
	Chirurgical	1338	5650	451	24	3	36	7502
	Inconnu	236	320	31	3	0	173	803
	total	7455	14760	1379	86	19	339	24038
Statut de consultation des patients en fonction de leur état de gravité-2013	CCMU	1	2	3	4	5	inconnu	total
	Médical	4679	8248	1041	64	16	48	14096
	Chirurgical	865	5588	494	26	3	36	7012
	Inconnu	158	290	1	3	1	3078	3531
	total	5702	14126	1536	93	20	3162	24639

Le statut de consultations patient nous indique si les patients étaient pris en charge d'un point de vue médical ou chirurgical. Cet indicateur est important car on sait qu'un statut chirurgical

prendra généralement plus de temps qu'un parcours médical, ce qui pourrait expliquer certains temps de passage excessifs.

Premièrement, il est évident que le statut médical (67,1 % des patients) est plus rencontré dans le SUP que le statut chirurgical représentant seulement 30,8 % des patients. Ces pourcentages, bien qu'ils ne prennent pas en compte le nombre des patients dont le CCMU n'a pas été déterminé (voir colonne « inconnu » dans le Tableau V-4) sont assez représentatifs car le nombre de patients avec un CCMU inconnu reste faible pour 2011 et 2012, et que les moyennes sur les trois années restent du même ordre.

Pour mieux comprendre si les statuts CCMU ont un impact sur le temps d'attente, nous allons nous intéresser au nombre de personnes ayant subi un traumatisme en fonction de leur état de gravité (cela va nous aider à définir plus précisément le statut chirurgical) et au nombre de personnes ayant fait des examens en fonction de leurs CCMU.

V.2.5 Traumatismes

Tableau V-5 : Pourcentage de personnes ayant subi un traumatisme, en fonction de leur niveau de gravité

CCMU		1	2	3	4	5	total
2011	Nbr de personnes ayant subi un traumatisme en fonction de leur niveau de gravité	1106	3876	115	5	2	5104
	% de personnes ayant subi un traumatisme dans leur niveau de gravité	15,22	26,79	9,97	6,58	8,33	22,05
2012	Nbr de personnes ayant subi un traumatisme en fonction de leur niveau de gravité	1150	4143	200	7	1	5501
	% de personnes ayant subi un traumatisme dans leur niveau de gravité	15,43	28,07	14,50	8,14	5,26	22,88
2013	Nbr de personnes ayant subi un traumatisme en fonction de leur niveau de gravité	866	4096	214	5	2	5183
	% de personnes ayant subi un traumatisme dans leur niveau de gravité	15,19	29,00	13,93	5,38	10,00	21,04

Sur la période 2011-2013, environ 22 % des patients arrivent aux Urgences pédiatriques avec un traumatisme. Généralement le traitement d'un traumatisme nécessite une chirurgie. En effet les chiffres de ce tableau correspondent aux statistiques du Tableau V-4. Ceci pourrait donc expliquer en partie l'augmentation de certains temps de passage.

D'après la base de données réelle du SUP, le pourcentage des patients ayant subi le plus de traumatisme sont les niveaux 1 et 2. Ces patients représentent respectivement environ 15,3 % et 28 % des patients ayant le même niveau de gravité. Or, comme nous l'avons évoqué précédemment, les niveaux 1 et 2 sont les niveaux les moins graves, dont le temps d'attente

dépasse régulièrement l'heure voire les deux heures et dont le temps de passage est le plus faible.

Nous allons donc analyser l'impact des examens complémentaires sur l'indicateur temps de passage.

V.2.6 Examens complémentaires

Les examens complémentaires représentent une étape de décision importante dans laquelle le personnel médical suite aux résultats de ces examens prend des décisions concernant l'orientation des patients en cours de leur prise en charge.

Tableau V-6 : Pourcentage de patients ayant eu recours à un examen complémentaire en fonction de leur niveau de gravité

% de patients ayant eu recours à examen complémentaire en fonction de leur état de gravité (2011)	CCMU	1	2	3	4	5
	Imagerie	315	5405	531	32	13
	Echographie	33	1053	120	1	3
	Scanner	9	356	99	9	4
	Radiographie	299	4831	433	28	8
	biologie	171	3592	783	55	13
	nombre de personnes ayant fait des examens en fonction de leur niveau de gravité (NPE)	827	15237	1966	125	41
	% NPE avec biologie	11,38	105,30	170,51	164,47	170,83
	% NPE sans biologie	9,04	80,49	102,86	97,37	137,50
% de patients ayant eu recours à examen complémentaire en fonction de leur état de gravité (2012)	CCMU	1	2	3	4	5
	Imagerie	303	3080	358	18	7
	Echographie	71	1149	198	5	1
	Scanner	13	344	109	11	5
	Radiographie	400	4718	496	25	7
	Nombre de patients ayant fait des examens en fonction de leur niveau de gravité (NPE)	787	9291	1161	59	20
	% NPE	10,56	62,95	84,19	68,60	105,26
% de patients ayant eu recours à examen complémentaire en fonction de leur état de gravité (2013)	CCMU	1	2	3	4	5
	Echographie	0	1017	210	12	0
	Scanner	0	293	155	12	2
	Radiographie	0	4156	537	34	7
	Biologie	0	2990	969	72	15
	Nombre de patients ayant fait des examens en fonction de leur niveau de gravité (NPE)	0	8456	1871	130	24
	% NPE avec biologie	0,00	59,86	121,81	139,78	120,00
	% NPE sans biologie	0,00	38,69	58,72	62,37	45,00

Tableau V-7 : Nombre de patients ayant eu recours à un examen complémentaire en fonction du CCMU et de leur statut

		Imagerie et autres				CCMU
		imagerie	échographie	scanner	radiologie	
Statut (2011)	Médical	192	25	7	174	1
	Chirurgical	108	7	2	111	
	Médical	2868	750	245	2319	2
	Chirurgical	2372	272	105	2366	
	Médical	407	66	57	360	3
	Chirurgical	113	51	40	66	
	Médical	27	1	8	26	4
	Chirurgical	3	0	1	0	
	Médical	9	3	1	6	5
	Chirurgical	4	0	3	2	
Statut (2012)	Médical	151	40	9	179	1
	Chirurgical	135	29	3	203	
	Médical	1419	732	237	2005	2
	Chirurgical	1589	404	102	2612	
	Médical	211	95	55	339	3
	Chirurgical	133	99	53	145	
	Médical	12	4	1	20	4
	Chirurgical	4	0	9	5	
	Médical	5	1	3	7	5
	Chirurgical	2	0	2	0	
Statut (2013)	Médical	0	0	0	Médical	1
	Chirurgical	0	0	0	Chirurgical	
	Médical	663	193	1582	Médical	2
	Chirurgical	325	98	2503	Chirurgical	
	Médical	84	76	339	Médical	3
	Chirurgical	126	75	186	Chirurgical	
	Médical	7	4	26	Médical	4
	Chirurgical	5	8	7	Chirurgical	
	Médical	0	0	0	Médical	5
	Chirurgical	0	0	0	Chirurgical	

Le premier, nous renseigne sur le nombre de patients ayant recours à un examen complémentaire en fonction de leur niveau de gravité, et permet de déceler deux points importants que nous allons détailler par la suite. Pour cela nous avons réalisé un petit tableau récapitulant certaines données du Tableau V-7:

Tableau V-8 : Pourcentage de patients ayant réalisés un examen complémentaire lorsque leur niveau de gravité a été mentionné en fonction des années (2011,2012 et 2013)

Pourcentage de patients ayant réalisés un examen complémentaire lorsque leur niveau de gravité a été mentionné pour la période de 2011 à 2013					
	Imagerie	Echographie	Scanner	Radiologie	Biologie
2011	27,4	5,3	2	24,4	20,1
2012	15,9	6	2	23,8	/
2013	/	5,8	2,1	22,1	18,8
Moyenne pour 2011-2013	21,7	5,7	2	23,4	19,5

Notre première constatation est que le nombre d'examens d'imagerie (21,7 %) et de radiographie (23,4 %) sont nettement plus importants que le nombre d'examens d'échographie (5,7 %) et de scanner (2 %), pour la période 2011-2013. La deuxième constatation, qui est flagrante, est que les examens prescrits ont diminué entre 2011 et 2013. Les CCMU qui subissent le plus d'examens sont le niveau 2, ensuite le niveau 4. Les CCMU 3 et 5 subissent le moins d'examens complémentaires pour ces trois années. En effet, les imageries et les radiologies sont des examens qui requièrent très peu de temps (quelques minutes). De même, le Tableau V-7 montre que, pour les patients ayant eu recours à un ou plusieurs examens complémentaires, tous ceux qui correspondent aux différents niveaux de gravité peuvent réaliser des imageries et radiographies, plus particulièrement les patients de CCMU 1 et 2 pour la période 2011-2012.

Même si de nombreux patients de la classe 2 ont dû réaliser une imagerie ou radiologie, ces examens prennent très peu de temps. Cela ne justifie toujours pas le temps de passage excessif pour ces niveaux de gravité, néanmoins cela explique que les temps de passage des CCMU 1 et 2 soient moins élevés que les autres.

En ce qui concerne, les échographies et les scanners, ce sont les CCMU 3, 4 et 5 qui sont les plus concernés. Etant donné que ces examens requièrent plus de temps (entre 15 et 30 min), les temps de passage pourraient être un peu plus longs. De plus, ces CCMU ont des taux élevés concernant le pourcentage de patients ayant eu recours à un examen complémentaire. Ce pourcentage dépasse parfois les 100 %. Cela veut donc dire que chaque patient fait au moins un examen complémentaire pour la période 2011-2012. En outre, l'année 2011 nous renseigne sur les examens biologiques réalisés aux Urgences pédiatriques, et on se rend compte que les niveaux de gravité 3, 4 et 5 ont recours plus souvent à ces examens complémentaires que les autres niveaux de gravité. Nous en déduisons que les niveaux 3, 4 et 5 peuvent avoir recours à plusieurs examens, ce qui allongerait leur temps de passage.

V.2.7 Classification GEMSA

Après avoir analysé les différents indicateurs de tension précédents, nous allons maintenant nous intéresser au GEMSA. La classification GEMSA est un Groupe d'Etude Multicentrique des Services d'Accueil. Elle classe les patients en 6 groupes selon leurs modes d'admission et de sortie. Chaque classe permet de réunir les patients dont la charge en soins médicaux et paramédicaux et le volume des examens complémentaires sont globalement équivalents. Cette classification pourrait donc servir à prédire la consommation en ressources d'un SU.

L'étude de chaque GEMSA en fonction de l'état de gravité du patient nous indique s'il y a un manque de ressources au SUP du CHRU de Lille. La classification GEMSA est comme suit :

- **GEMSA 1** : Patient décédé à l'arrivée ou avant tout geste de réanimation.
- **GEMSA 2** : Patient non convoqué, sortant après consultation ou soins (petite chirurgie, consultation médicale, etc.).
- **GEMSA 3** : Patient convoqué pour des opérations de soins programmées (surveillance de plâtre, réfection de pansement, ablation de fils, rappel de vaccination, etc.).
- **GEMSA 4** : Patient non attendu dans un service et hospitalisé après passage au SAU.
- **GEMSA 5** : Patient attendu dans un service, ne passant au SAU que pour des raisons d'organisation (enregistrement administratif, réalisation d'un « bilan d'entrée », refus de certains services de réaliser des entrées directes, etc.).
- **GEMSA 6** : Patient nécessitant une prise en charge thérapeutique immédiate importante (réanimation) ou prolongée (surveillance médicale attentive pendant au moins une heure).

Le tableau ci-dessous (Tableau V-9) indique la répartition des patients des Urgences pédiatriques en groupe d'étude multicentrique en fonction de leur niveau de gravité pour les années 2011, 2012 et 2013 :

Tableau V-9 : GEMSA en fonction de l'état de gravité des patients

GEMSA en fonction de l'état de gravité - 2011	GEMSA	1	2	3	4	5	6	inconnu	total
	inconnu		151		6	1		1	159
	CCMU 1	0	7047	131	72	18	0		7268
	CCMU 2	1	11898	610	1616	345	0		14470
	CCMU 3	0	300	11	727	111	4		1153
	CCMU 4	0	7	1	57	6	5		76
	CCMU 5	0	0	0	19	4	1		24
	Total	1	19403	753	2497	485	10	1	23150
	%	0	83,81	3,25	10,79	2,1	0,04	0	100
GEMSA en fonction de l'état de gravité - 2012	GEMSA	1	2	3	4	5	6	inconnu	total
	inconnu		151	2	12	4		178	347
	CCMU 1	0	7013	281	111	43	0		7448
	CCMU 2	0	11640	1363	1490	262	4		14759
	CCMU 3	0	290	37	868	182	2		1379
	CCMU 4	0	6	0	61	16	3		86
	CCMU 5	0	0	0	14	2	3		19

	total	0	19100	1683	2556	509	12	178	24038
	%	0	79,46	7	10,63	2,12	0,05	0,74	100
GEMSA en fonction de l'état de gravité - 2013	GEMSA	1	2	3	4	5	6	inconnu	total
	inconnu	0	65	0	6	2	1	3079	3162
	CCMU 1	0	5562	60	61	11	0		5702
	CCMU 2	0	12437	302	1239	135	3		14126
	CCMU 3	0	335	8	1116	101	3		1536
	CCMU 4	0	3	1	79	9	1		93
	CCMU 5	0	1	0	16	1	2		20
	total	0	18403	371	2517	259	10	3079	24639
	%	0	74,69	1,51	10,22	1,05	0,04	12,50	100,00

Tout d'abord, nous remarquons que 79,3 % du total des patients passés aux Urgences sont des GEMSA 2, pour la période 2011-2013, c'est-à-dire que ces patients sont venus aux Urgences et sont sortis après une consultation médicale ou après des petits soins (exemple : suture). Le GEMSA 2 représente 96,2 % des patients de gravité 1, 84 % des patients de gravité 2 et 22,9 % des patients de gravité 3. Ceci explique donc bien pourquoi les CCMU des niveaux 1 et 2 ont un temps de passage plus court que les autres CCMU. En effet, ils ne requièrent ni de soins intensifs ni de nombreuses ressources (matérielles et humaines). Cependant, comment expliquer les 22,9 % des patients venant du niveau de gravité 3 alors que le temps de passage de ce CCMU est si élevé?

Le deuxième pourcentage le plus élevé en nombre de patients est celui du GEMSA 4, qui est de 10,55 %. Le GEMSA 4 correspond, comme dit précédemment, aux patients non attendus dans un service et hospitalisés après passage au SAU. Généralement ces hospitalisations commencent en UHCD, ce qui peut expliquer l'augmentation du temps de passage dans certains niveaux de gravité. Nous avons pu remarquer précédemment que les temps de passage les plus longs correspondent aux niveaux de gravité les plus élevés, c'est-à-dire les niveaux 3, 4 et 5. Effectivement lorsque nous nous intéressons à ces CCMU, nous constatons que les patients avec un GEMSA 4 correspondent à 66,2 % des CCMU 3, 76,9 % des CCMU 4 et 77,6 % des CCMU 5 pour 2011-2013.

7 % des patients sont des patients qui ont été convoqués suite à une prise en charge par les Urgences afin de vérifier l'état de leurs pathologies pour l'année 2012. En 2013, ce chiffre est tombé à 1,51 %. Généralement, ces pathologies prennent la forme de petits soins, comme la surveillance d'un plâtre ou un rappel de vaccination. Ils ne sont donc pas indispensables et ne mettent en aucun cas la vie du patient en danger (majoritairement représentés par le CCMU 2). Ces convocations sont sous la forme de consultations externes données par le personnel travaillant aux Urgences. Si le personnel pouvait prédire les zones de tension ou du moins connaître les temps propices aux engorgements des Urgences, alors ces consultations pourraient être choisies, et donc reportées si nécessaire. Cela permettrait donc d'éviter une tension.

Enfin les GEMSA 5 et 6 correspondent à des patients nécessitant une prise en charge un peu plus importante voire indispensable. Ils ne représentent que 1,8 % du total des patients au SUP et sont les plus retrouvés dans les CCMU de niveaux 3, 4 et 5.

V.2.8 Destination des patients

La destination des patients en fonction de leur niveau de gravité est le dernier indicateur que nous allons étudier.

Tableau V-10 : Destination des patients des Urgences en fonction de leur état de gravité

Destination des patients des Urgences en fonction de leur niveau de gravité (2011)	Destination	Retour Domicile	Transfert interne	Transfert externe	Fugue	Nombre d'abandons	Admis par erreur	Sortie contre avis médical	total
	sans niveau								202
	CCMU 1	7097	75	15	56	21	0	1	7265
	CCMU 2	12435	1709	235	51	3	0	4	14437
	CCMU 3	309	775	64	1	0	0	1	1150
	CCMU 4	8	58	7	0	0	0	0	73
	CCMU 5	0	23	1	0	0	0	0	24
	Total	19849	2640	322	108	24	0	6	23151
Destination des patients des Urgences en fonction de leur niveau de gravité (2012)									
	sans niveau								651
	CCMU 1	7162	131	23	44	47	5	2	7414
	CCMU 2	12671	1551	204	49	7	1	7	14490
	CCMU 3	322	979	73	3	0	0	1	1378
	CCMU 4	6	79	1	0	0	0	0	86
	CCMU 5	0	19	0	0	0	0	0	19
	Total	20161	2759	301	96	54	6	10	24038
Destination des patients des Urgences en fonction de leur niveau de gravité (2013)									
	sans niveau								3162
	CCMU 1	5590	60	12	22	1		0	5702
	CCMU 2	12699	1263	111	28	2		3	14126
	CCMU 3	339	1151	64	2	0		2	1536
	CCMU 4	4	87	2	0	0		0	93
	CCMU 5	1	19	0	0	0		0	20
	Total	18633	2580	189	52	3	0	5	24639

Tout d'abord, nous pouvons remarquer que 86,5 % des patients qui sont passés aux Urgences sont rentrés à domicile après leur prise en charge. Il s'agit généralement des patients dont le pronostic vital n'est pas engagé et qui généralement restent longtemps au SUP (temps d'attente excessif) alors que leurs temps de passage pourraient être inférieurs à deux heures.

Les transferts internes sont les cas qui montrent le plus souvent les « vrais » Urgences ou du moins ceux qui requièrent une surveillance particulière. Ils représentent 11,7% des patients du SUP. Ils se composent de 71,1 % des patients de CCMU 3, 88,3 % des patients de CCMU 4 et 96,9 % des patients de CCMU5 qui ont subi un transfert interne. Les transferts externes sont expliqués, quant à eux, par le fait que lorsqu'une zone de tension se produit, le SUP peut

se trouver incapable d'y faire face, car il ne dispose pas de la quantité de lits nécessaire dans le SUP. Dans ce cas, un transfert inter-hospitalier des patients est indispensable.

V.3 Résultats de l'analyse

Avec une moyenne d'environ 25 000 patients par an, le SUP du CHRU de Lille est l'une des Urgences pédiatriques les plus importantes du Nord-Pas-de-Calais. Sa population est très hétérogène quant à la gravité des patients, allant de simples rhumes aux cas les plus graves (réanimation). En effet, ceci est principalement dû au fait que les Français ne connaissent pas assez le système de santé actuel et ne savent pas où aller ou à qui s'adresser lors d'une situation de santé imprévue. De plus, les parents ont tendance à s'affoler plus vite lorsqu'il s'agit de leurs enfants, voilà pourquoi on retrouve dans la plupart des cas, aux Urgences, des patients dont la gravité de leurs pathologies est très faible (93,1 %).

Les temps de passage en fonction des niveaux de gravité diffèrent considérablement selon le CCMU des patients. Les Urgences actuelles du CHRU de Lille privilégient généralement les cas 3, 4, et 5, ce qui paraît logique vu leur niveau de gravité, en laissant patienter les niveaux 1 et 2 qui ont le plus long temps d'attente et qui sont les plus nombreux. Ceci entraîne certaines tensions si le flux de patients est important comme lors de périodes épidémiques. L'objectif serait donc de prendre aussi en charge ces patients en même temps que les cas les plus graves afin de diminuer les attentes et de régulariser les flux des patients.

Nous avons aussi pu constater que deux tiers des patients viennent pour un diagnostic médical, qui se traduit dans la plupart des cas par une consultation médicale voire une prise de sang et/ou imagerie. Alors qu'un tiers des patients représentent des cas de traumatologie (chirurgie). Ces patients sont généralement des niveaux 1, 2 ou 3 et nécessitent une imagerie, une radiologie ou un passage dans la salle « sutures et plâtres ». Mais nous nous apercevons que les niveaux 3, 4 et 5 qui nécessitent plus de surveillance de leur état de santé. Cette surveillance encombre généralement les box de consultations et l'UHCD et monopolise les ressources médicales. En outre, comme nous l'avons constaté dans la partie « destination des patients », la majorité des patients des niveaux de gravité 3, 4 et 5 ont subi un transfert interne. Il est donc important de posséder des lits en aval dans le SUP. Malheureusement, cette information n'est toujours pas disponible avec précision et en temps réel au CHRU de Lille.

L'analyse de la base de données des trois ans nous a permis de constater qu'il y a souvent des interférences entre des opérations de soins programmées, les opérations non programmées et celles non programmées urgentes. Dans ce cas, une mise à jour du CCMU du patient est nécessaire notamment après les résultats des examens complémentaires. Ceci implique une modification de l'orientation du patient au cours de sa prise en charge. Pour pouvoir gérer ces trois types d'opérations et lisser les pics d'activité lors des journées de tension identifiées suite à l'analyse de la base de données du SUP, il est nécessaire d'avoir des outils de gestion, d'ordonnancement et d'orchestration dynamique des opérations de soins. Nous allons donc

simuler ces approches d'ordonnancement et d'orchestration en optimisant les quatre critères que nous avons définis dans le chapitre IV. Pour évaluer ces critères, nous allons utiliser des bornes inférieures dont le calcul sera détaillé dans la partie suivante.

V.4 Calcul des bornes inférieures pour l'évaluation des critères

Nous nous intéressons dans cette partie à l'évaluation des solutions en fonction des critères que nous avons fixés. Ces critères hétérogènes ont des poids différents. Ils ne sont pas de la même importance et la relation entre eux est complexe et non linéaire. Par conséquent, pour tenir compte de ces difficultés et évaluer les solutions obtenues, nous allons commencer par la définition des bornes inférieures.

Suite à la formulation mathématique présentée dans le chapitre précédent (chapitre IV), nous définissons les bornes inférieures Cr_1^*, Cr_2^*, Cr_3^* et Cr_4^* calculées comme suit :

V.4.1 Borne inférieur du critère Cr_1

Pour chaque patient P_j , ζ_j est la somme des temps d'exécution de l'ensemble de ses opérations de soins.

Pour chaque affectation S : $\zeta_j = \sum_i \sum_k (s_{i,j,k} \cdot d_{i,j,k})$

Pour chaque opération $O_{i,j}$, le temps exécution minimal est égal à $\gamma_{i,j} = \min_k (d_{i,j,k})$.

Pour chaque patient P_j , ζ_j^* est la somme minimale des temps d'exécution de l'ensemble de ses opérations de soins.

$$Cr_2^* = \min_S (\zeta_j)$$

V.4.2 Borne inférieur du critère Cr_2

Soit θ_j^{\min} le temps d'attente minimum du patient P_j , $\forall j \in \{1, 2, \dots, N\}$.

Le temps d'attente moyen avant la première prise en charge est W tel que $W = \sum_{j=1}^N \frac{(\theta_j^{\min} + \theta_j^{\max})}{2}$.

Soit P_t le nombre total des patients en attente de traitement $P_t = \text{card}(NP) - \text{card}(NP^+)$ tel que NP^+ est l'ensemble des patients déjà traités.

Soit $S_{j,t}$ un booléen qui indique si la première prise en charge du patient P_j a eu lieu à l'instant t ($S_{j,t} = 1$) ou pas ($S_{j,t} = 0$).

$LoS_{j,t}$ indique la durée de séjour du patient P_j à l'instant t , avec $LoS_{j,t} = t - t_j^{\text{ent}}$. D'où ;

$$\theta_j^{\min} \leq \max(0, c_j - d_j) \leq \theta_j^{\max}$$

Donc, $Cr_2 = \sum_{j=1}^P S_{j,t} \times \frac{LoS_{j,t}}{W} \geq \sum_{j=1}^P \theta_j^{\min} = Cr_2^*$ si $P_t > 0$ et $= 0$ sinon.

V.4.3 Borne inférieure du critère Cr_3

Pour une affectation S d'une opération de soins $O_{i,j}$ à un personnel médical m_k , nous avons :

$$Cr_3 \geq \min_S (r_j + \zeta_j(S)) = Cr_3^* \quad \forall j \leq N$$

V.4.4 Borne inférieure du critère Cr_4

Parce que la charge de travail d'un des membres du personnel médical doit être un entier,

nous considérons la valeur entière de $\frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{M}$ qui est la borne inférieure du critère Cr_4 .

$$\left\lfloor \frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{M} \right\rfloor \leq \frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{M} \leq \left\lceil \frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{M} \right\rceil + 1$$

Donc si $\frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{M}$ est un entier alors $\forall S$, $Cr_4(S) \geq \frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{M}$

sinon $\forall S$, $Cr_4(S) \geq \left\lceil \frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{M} \right\rceil + 1 = Cr_4^*$

V.5 Implémentation du SysCAOO proposé

V.5.1 Choix de la plateforme multi-agent

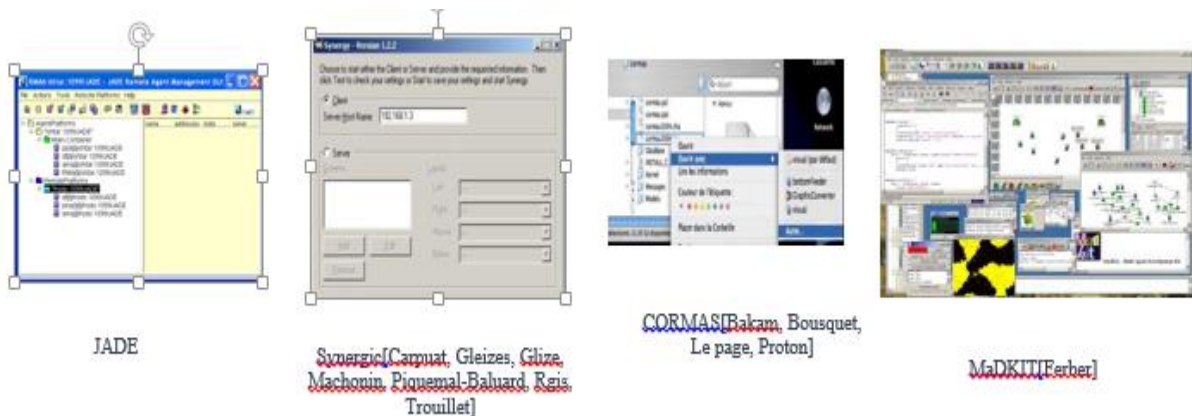


Figure V-5 : Plateformes Multi-agent

Le besoin de mettre en œuvre des systèmes à plusieurs composantes autonomes nécessite une infrastructure de logiciels utilisée comme environnement pour le déploiement et l'exécution d'un ensemble d'agents. Cette infrastructure est appelée plateforme de développement des SMA.

Cependant, l'implémentation de tels systèmes s'avère souvent difficile au niveau de la manipulation de structures de données complexes, de la distribution, de la communication ainsi qu'au niveau des contraintes matérielles imposées. En plus, l'IA est un domaine de recherche extrêmement riche et cette richesse induit une grande complexité et une grande multiplicité des approches proposées, ce qui conduit à de très nombreux modèles d'agents, d'environnements, d'interactions et d'organisations. Ces modèles sont souvent combinés au sein d'un même SMA. Ainsi, le mieux est de choisir une plateforme multi-agent adaptée aux contraintes du système à mettre en œuvre. Plusieurs plateformes multi-agents existent, telles que MadKit, JADE, ZEUS, AgentBuilder, Jack, etc (Figure V-5).

Pour la sélection de la plateforme, les critères insignifiants tels que la difficulté d'apprentissage ou la non disponibilité des sources n'ont pas été pris en compte. Néanmoins, quelques critères importants sont à souligner⁶:

- La possibilité d'implémenter des systèmes relativement complexes ;
- La flexibilité : éviter les plateformes qui supportent une méthodologie particulière ;
- L'accélération de développement grâce à la présence suffisamment importante de briques logicielles pour pouvoir produire une application aboutie ;
- Le traitement distribué et notamment la présence d'un support pour le paradigme AM ;
- Support pour les appareils mobiles et les applications Web ;
- Possibilité d'intégration des services web ;
- Environnement d'exécution graphique ;
- applications conformes aux normes FIPA ;
- open source ;
- Protocoles d'interaction prédéfinis tels que spécifiés par la FIPA ;
- Un modèle de programmation de l'agent asynchrone ;
- De nouveaux protocoles d'interaction peuvent être facilement introduits.

Les deux plateformes qui ne spécifient aucune méthodologie et peuvent être considérées comme des « Framework⁷ », sont JADE et Jack mais JADE l'emporte avec plusieurs autres caractéristiques intéressantes telles que la possibilité d'intégration des Web services et l'existence d'un bon support de langages de contenu et d'ontologies. Ainsi, pour le développement de notre système et la simulation des résultats de nos approches

⁶ <http://jade.tilab.com>

⁷ Un ensemble de bibliothèques permettant le développement rapide d'applications. Il fournit suffisamment de briques logicielles pour pouvoir produire une application

d'optimisation, c'est la plateforme JADE (Java Agent Development Framework) qui a été retenue. JADE est un logiciel-médiateur⁸ "middleware" qui permet une implémentation flexible des SMA communiquant grâce à un transfert efficace des messages ACL (Agent Communication Language), conformes aux spécifications de la FIPA. JADE est écrit en Java, supporte la mobilité, évolue rapidement et fait partie aujourd'hui des rares plateformes multi-agents qui offrent la possibilité d'intégration des services Web (Greenwood 2005). D'un autre côté, JADE tente de faciliter le développement des applications agent en optimisant les performances d'un système d'agent distribué.

Bien que JADE est un projet récent conçu pour des raisons plutôt académiques qu'industrielles et même si cette plateforme est disponible depuis mai 2003 en Open Source sous LGPL licence (Lesser General Public License Version 2), JADE a été utilisé dans de nombreux projets internationaux⁹ :

- Project : Ordonnanceur Multi-agent: fait par *ERXA (Engineering, Robotics & Control System Applications)* et consiste dans la réalisation d'un planificateur industriel dans des environnements de fabrication. *ERXA* utilise JADE pour le développement de son projet axé sur la réalisation d'un planificateur industriel dans des environnements de fabrication. Le projet, appelé MASP - *Multi Scheduler Project Agent*, vise à réaliser un ordonnanceur générique basé sur la technique multi-agent.
- *Fraunhofer IITB (Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung)* utilise JADE pour le développement d'une grande variété de systèmes logiciels à base d'agents. Dans le domaine du contrôle de la fabrication, Fraunhofer a mis en place *ProVis.Agent* - un système, utilisant JADE, pour le contrôle de la production en temps réel pour l'industrie automobile.

V.5.2 Outils et paramétrage

Pour apercevoir les communications et les comportements des agents, JADE offre des outils graphiques, qui sont eux même des agents, tels que le « RMA » (Remote Management Agent) qui représente l'interface principale d'administration (Figure V-6), l'« introspector » qui permet de contrôler le cycle de vie d'un agent, ses messages ACL échangés et ses comportements et le « sniffer » qui permet de suivre le cheminement des communications entre les différents agents du système (Figure V-7).

⁸ Permet la communication entre des clients et des serveurs ayant des structures et une implémentation différentes

⁹ http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_agent-based_modeling_software

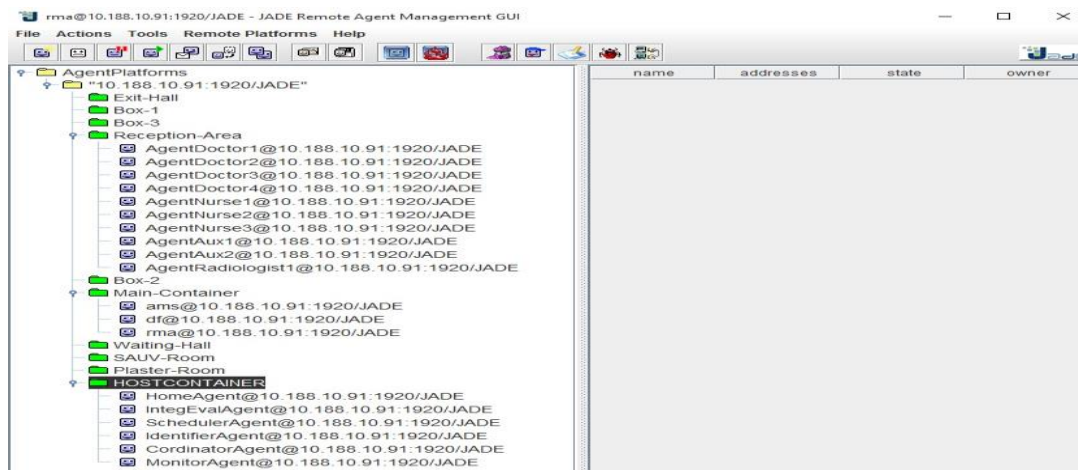


Figure V-6 : Le « RMA »

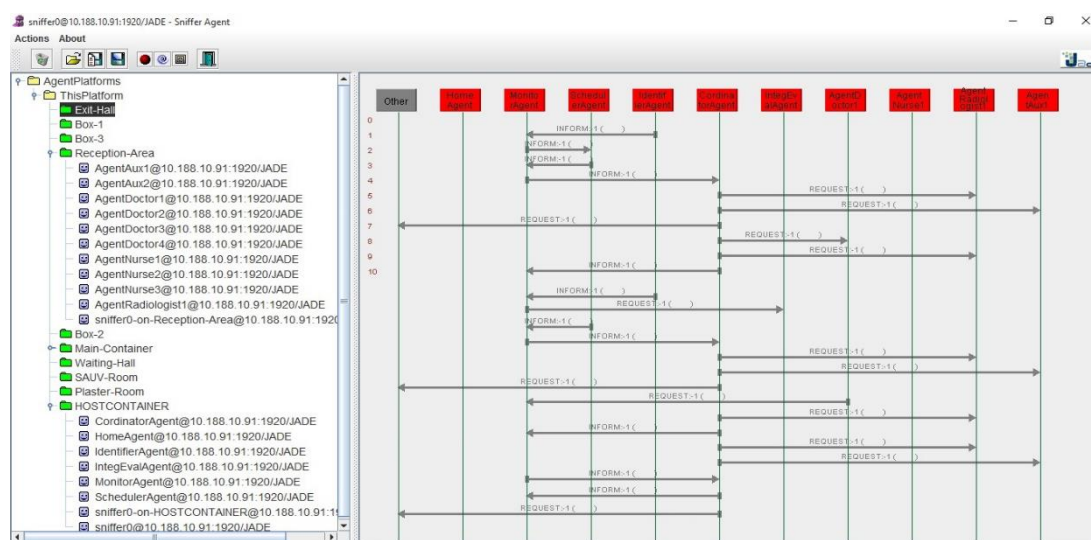


Figure V-7: Communication des agents dans le système

Il existe un dernier outil important dans la plateforme JADE qui correspond au « *Directory Facilitator Agent* », ou « *DF* ». Il s'agit d'un service de pages jaunes. Le directory facilitator est l'agent qui gère ce service. Ainsi, tout agent fournissant un service doit se déclarer auprès du DF, et tout agent recherchant un service particulier doit le consulter.

V.5.3 Implémentation des interfaces du SysCAOO

Notre système SysCAOO est un système d'aide à la décision destiné aux membres du personnel médical pour la gestion et le suivi des patients dans le but d'améliorer leur prise en charge. Il aide le personnel du SUP à prendre des décisions concernant l'orientation et le traitement des patients et évaluer la performance du SUP. En effet, grâce à SysCAOO chaque membre du personnel médical peut avoir l'information sur le nombre de patients présents dans le SUP, traités ou en attente de traitement. Il peut aussi suivre l'évolution de leur prise en charge. SysCAOO permet une meilleure coordination et communication au sein des équipes médicales et entre ces équipes et les patients.

SysCAOO est un outil flexible, évolutif et interactif. Il dispose de plusieurs interfaces ergonomiques qui permettent aux gestionnaires du SUP d'intervenir et agir sur les fonctionnalités du système.

Au démarrage de la simulation, SysCAOO charge les bases de données réelles du SUP. Notre système comprend des interfaces de gestion telles que: les interfaces d'inscription et d'authentification du personnel médical. Lorsque nous lançons le système, les interfaces pour l'enregistrement et/ou l'authentification de l'utilisateur apparaissent. Cette étape est importante pour sécuriser les données patient.

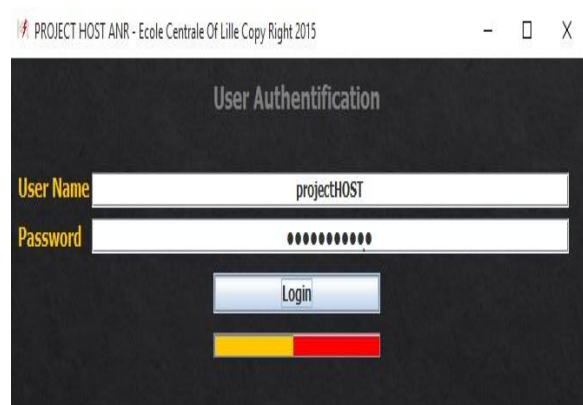


Figure V-8 : Interface d'Authentification

V.5.3.1 Main Interface

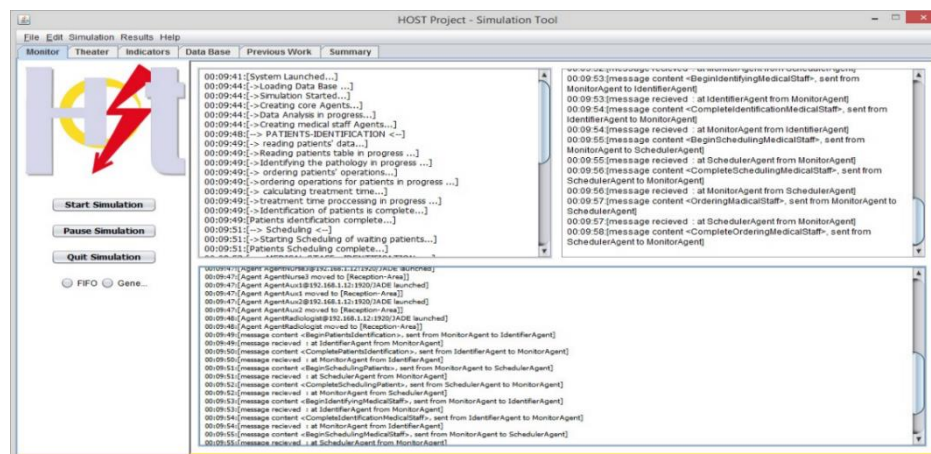


Figure V-9 : Main Interface

Cette interface (Figure V-9) permet de visualiser les différentes transactions et interactions entre les agents dans notre système.

V.5.3.2 Interface théâtre (SUP)

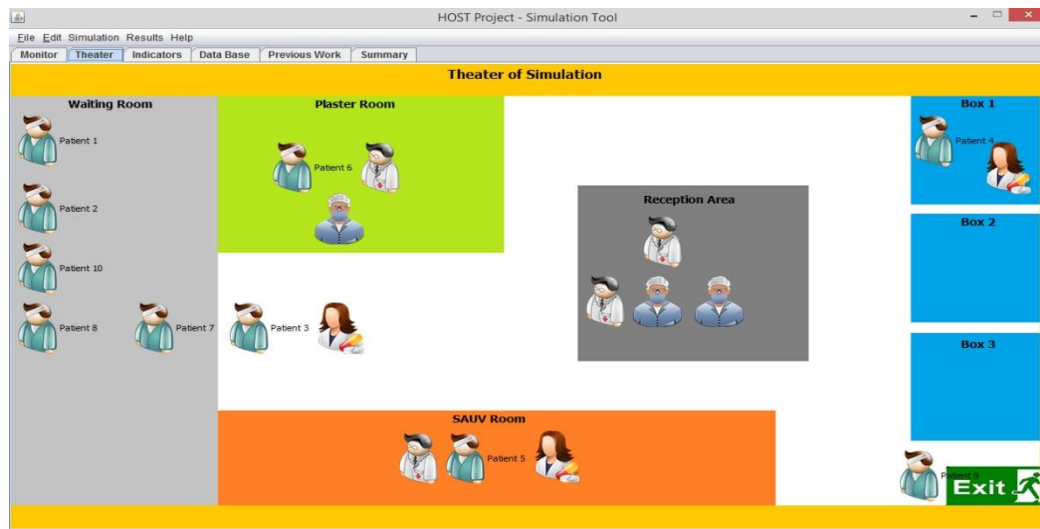


Figure V-10 : Interface théâtre (SUP)

Cette interface (Figure V-10) émule l'architecture du SUP y compris les box, les salles d'attente, etc. Cette interface permet de suivre les déplacements du personnel médical au sein du SUP, modélisé par des agents mobiles dans l'architecture multi-agent proposée, lors de l'exécution des tâches de soins ainsi que le parcours patient.

V.5.3.3 Interface de l'évolution des critères

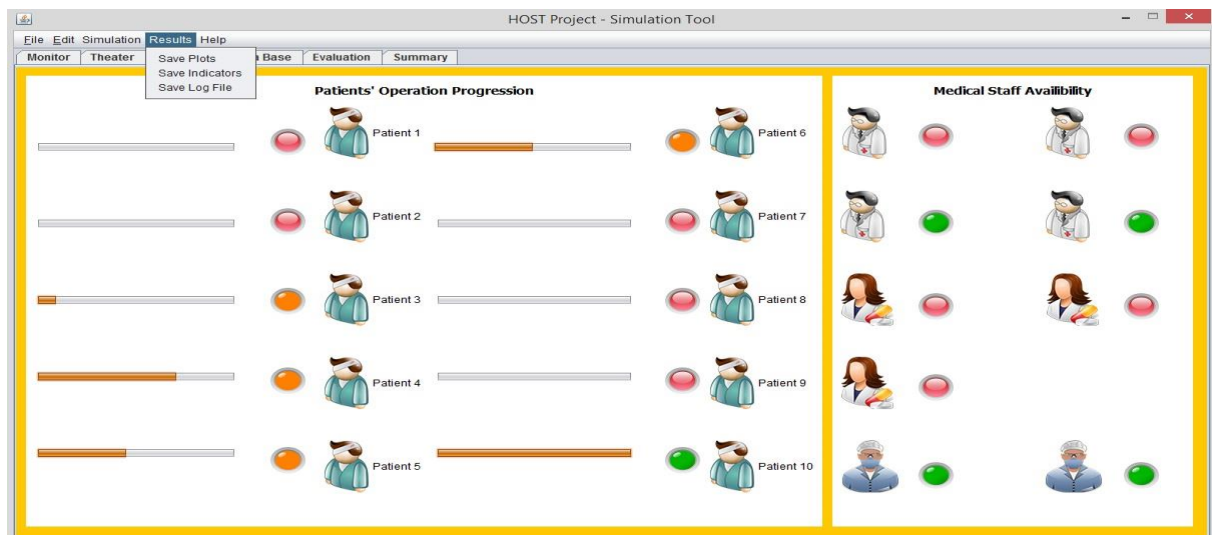


Figure V-11 : Interface de l'évolution des critères

Cette interface permet de suivre l'évolution des disponibilités du personnel médical et celle du parcours patient. Le panneau de gauche concerne le suivi de la prise en charge des patients. Par exemple, à son arrivée, l'attente de la première prise en charge du patient est signalée par un voyant rouge et la barre de progression correspondante est vide (0 %). Une fois que la

première prise en charge est réalisée, le voyant devient orange. A chaque fois qu'une opération de soins est réalisée sur un patient la barre de progression se remplit avec un pourcentage qui dépend des opérations restantes à faire ($x\%$). Lorsque le processus de traitement du patient est accompli, le voyant devient vert et la barre de progression est totalement remplie (100 %). Le panneau de droite schématise des voyants verts et des voyants rouges indiquant respectivement la disponibilité et la non disponibilité du personnel médical. C'est le rôle de l'AR.

V.5.3.4 Interface de suivi patient

Grace à l'interaction entre l'AO, l'AT et l'AR, nous obtenons une interface de visualisation de l'évolution de la prise en charge des différents patients présents dans le SUP ce qui permet d'avoir en temps réel une idée sur la situation réelle du terrain. Les barres de progression donnent à l'AO une idée précise sur les décisions à prendre concernant les prochains patients à traiter et les affectations du personnel médical. Ces barres de progression indiquent clairement les opérations de soins restantes à effectuer sur les patients. Ainsi, nous évaluons l'état de tension en fonction de l'avancement de la prise en charge des patients et le pourcentage précis de ce qui reste à faire, et non en fonction du nombre des patients qui existent dans la salle d'attente. Cette interface donne à l'utilisateur une idée générale sur la situation au SUP en visualisant le cumul de pourcentage des opérations restantes à faire sur les patients.

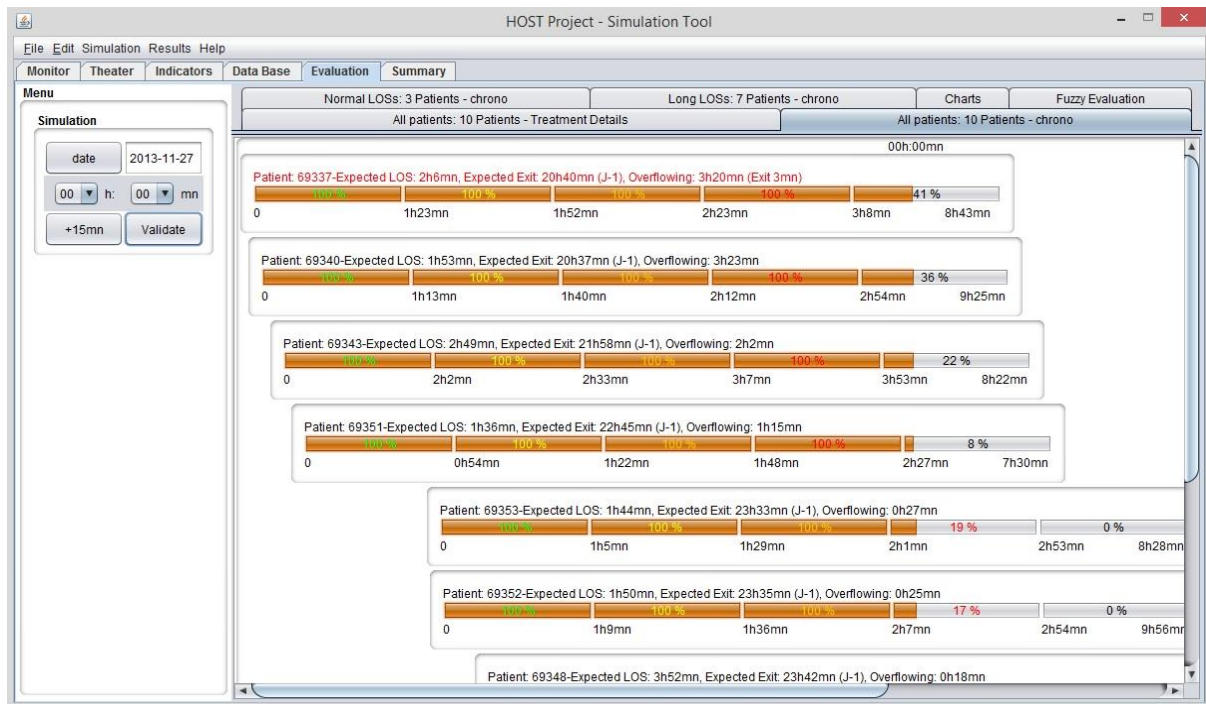


Figure V-12 : Interface de suivi patient

Ces barres évoluent en fonction du temps. Leurs parties pleines représentent les opérations de soins déjà faites et les vides indiquent le pourcentage des opérations de soins restantes à faire.

Ce modèle met en évidence le temps restant estimé. Les délais d'attente excessifs reflètent un état de tension et peuvent être intégrés dans une métrique particulière qui peut mesurer l'indisponibilité des ressources et de la congestion dans le service.

V.6 Simulations et résultats de l'ordonnancement: Comportement de l'AO

A partir de la base de données réelle du SUP, nous avons récupéré pour chaque patient un certain nombre d'informations: âge, sexe, mode d'arrivée, le diagnostic, la pathologie et les dates d'entrée qui nous ont permis de spécifier à l'AO les tâches de soins à ordonnancer et le personnel médical à affecter.

Le tableau ci-dessous représente la base de données patient. Nous avons choisi un scénario avec 10 patients à traiter qui sont arrivés au SUP le 27 Novembre 2013. Pour chaque patient correspondent une pathologie, un degré d'urgence et une date d'arrivée. L'Aid de la plateforme SysCAOO a envoyé les informations nécessaires à l'AO pour effectuer l'ordonnancement à savoir les compétences nécessaires au traitement des pathologies et les degrés d'urgence de ces dernières. Ces données sont détaillées dans le tableau suivant :

Tableau V-11 : Tableau patients/pathologies

id	patientID	name	pathology	level	arrivaldate	exitdate
8	8732	Patient7	concussion	3	2013-11-27 20:36:00	0000-00-00 00:00:00
10	1112	Patient10	concussion	2	2013-11-27 20:35:00	0000-00-00 00:00:00
7	5543	Patient2	gastroenteritis	1	2013-11-27 20:33:00	0000-00-00 00:00:00
9	9876	Patient8	gastroenteritis	1	2013-11-27 20:32:00	0000-00-00 00:00:00
6	9986	Patient1	compoundfracture	1	2013-11-27 20:31:00	0000-00-00 00:00:00
4	1223	Patient6	compoundfracture	5	2013-11-27 20:30:00	0000-00-00 00:00:00
5	3332	Patient3	gastroenteritis	3	2013-11-27 20:23:00	0000-00-00 00:00:00
1	4521	Patient9	compoundfracture	5	2013-11-27 20:22:00	0000-00-00 00:00:00
3	9875	Patient5	concussion	2	2013-11-27 20:16:00	0000-00-00 00:00:00
2	5646	Patient4	gastroenteritis	2	2013-11-27 20:10:00	0000-00-00 00:00:00

Pour les pathologies, nous avons choisi 3 types: commotion cérébrale, gastroentérite et fracture ouverte. A chacune de ces pathologies correspond une liste d'opérations de soins à effectuer prédéfinie par un protocole de soins. Pour la même pathologie correspondant à un même patient, il y a plusieurs opérations à effectuer en parallèle ou en respectant des contraintes de précédence. Ainsi, nous attribuons à chaque opération un ordre d'exécution. Par exemple dans le tableau ci-dessous, pour la pathologie gastroentérite il y a 6 opérations d'ordre 1 qui doivent être exécutées en parallèle suivies d'une opération d'ordre 2 et à la fin une opération d'ordre 3.

Tableau V-12 : Base de données des opérations par pathologie

id	designation	glassgow	hydration	tempreture	heartrate	bloodpressure	respiratoryfrequency	cerebralscanner	bacteriologicaltest	radiothorax	neurologicaltest	fracturescore	bloodtest	skeletonradio
1	concussion	1	0	1	1	1	1	3	0	3	2	0	2	0
2	gastroenteritis	0	1	1	1	1	1	0	2	3	0	0	1	0
3	compoundfracture	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	2	1

Le Tableau V-13 donne des détails sur les opérations de soins qui doivent être exécutées dans l'ordre (de 1 à 13) pour traiter les patients. La troisième colonne représente le temps d'exécution théorique pour chaque opération (en secondes). Pour chaque ligne correspond les pourcentages de compétences ($0 \leq \theta_{i,j,k} \leq 100\%$) nécessaires pour la réalisation d'une opération de soins.

Tableau V-13 : Tableau des compétences

Id	Operation_name	Execution time	Doctor Score	NurseScore	AuxScore	Radiologist
1	glasscow	500	100%	30%	0	0
2	hydration	1000	100%	60%	0	0
3	temperature	500	100%	100%	60%	30%
4	heartrate	1000	100%	100%	0	0

5	bloodpressure	300	100%	100%	0	0
6	respiratoryfrequency	600	100%	100%	0	0
7	cererbralscanner	1200	60%	30%	100%	0
8	bacteriologicaltest	500	60%	30%	100%	0
9	radiothorax	1200	30%	30%	0	100%
10	Neurogicaltest	2000	100%	30%	0	0
11	fracturescore	500	100%	100%	0	0
12	Bloodtest	300	30%	30%	100%	0
13	Skeketonradio	1000	30%	0	0	100%

Dans ce tableau il y a 13 compétences (C_1 = « Glasgow », C_2 = « Hydrations », ..., C_{13} = « Skeletonradio ») et 4 classes du personnel médical : classe médecin, classe infirmière, classe auxiliaire et classe radiologue avec les pourcentages de compétence $\theta_{i,j,k}$ correspondant respectivement aux colonnes 4, 5, 6 et 7.

Si $\theta_{i,j,k} = 100\%$ alors le membre du personnel médical est sélectionné par l'AO pour l'exécution de l'opération. Toutefois, si le membre du personnel médical correspondant n'est pas disponible, l'AO choisit un autre avec un niveau de compétences inférieur ($\theta_{i,j,k} = 60\%$ ou $\theta_{i,j,k} = 30\%$). Si $\theta_{i,j,k} = 0$, l'opération de soins ne peut pas être exécutée. Pour chaque opération, le protocole de soins exige un niveau de compétences minimal pour l'exécuter, ce seuil dépend de la nature de l'opération de soins.

L'équipe médicale du SUP est composée de : 2 pédiatres, 1 médecin interne, 2 internes en pédiatrie, 1 interne en chirurgie, 2-3 infirmières et 2 auxiliaires. Cette équipe maîtrise 13 compétences $C_{i,j,k}$ avec des niveaux d'expérience différents et chaque opération de soins à exécuter a besoin d'une ou plusieurs compétences.

Dans le tableau ci-dessous sont représentés l'ensemble des patients, les opérations de soins correspondantes et les compétences nécessaires pour leur exécution. Pour chaque patient, nous avons un maximum de cinq opérations de soins à effectuer par les membres du personnel médical, et pour leur exécution, un niveau de compétence minimal est nécessaire. Dans le cas étudié, nous avons six différentes compétences.

Tableau V-14 : Tableau de compétences

	Opération 1	Opération 2	Opération 3	Opération 4	Opération 5
Patient 1	C1x2	C1 et C2	C1 et C3	C1 et C2x2	C4, C5x2 et C6
Patient 2	C2 et C3	C2 et C3	C2	Aucune opération	Aucune opération
Patient 3	C3x2	C3	Aucune opération	Aucune opération	Aucune opération
Patient 4	C4x2	C5 et C6	C6x2	C4x2	C1 et C2
Patient 5	C2x2	C5	C5 et C6	C4 et C5	C3

Patient 6	C1	C4	C6	Aucune opération	Aucune opération
Patient 7	C6x2	C1	C5 et C6	C3	Aucune opération
Patient 8	C3 et C5	C2 et C5	C3 et C6	C6	Aucune opération
Patient 9	C5	C4	C1	Aucune opération	Aucune opération
Patient 10	C4	C4 et C5	C1 et C2	C4	Aucune opération

Les données reportées dans le Tableau V-14 seront transmises à l'AO qui va appliquer les AE pour ordonnancer et affecter les équipes médicales à compétences multiples.



Figure V-13 : Gantt

L'ordonnancement des tâches à compétences multiples appliqué sur les 10 patients à traiter a donné le Gantt de la Figure V-13. L'ordonnancement considéré tient compte des contraintes classiques qu'on trouve dans la littérature (contraintes de précédence et contraintes de ressources) additionnées à de nouvelles contraintes définies dans le chapitre IV.

Dans l'ensemble, l'algorithme est capable de donner des solutions satisfaisantes meilleures que toutes les solutions produites par les praticiens du SUP. Cependant, la convergence de l'algorithme utilisé dépend de plusieurs paramètres. Notre objectif est d'analyser l'impact de quelques paramètres de l'algorithme pour définir la meilleure configuration à adopter. Pour chaque cas, la meilleure solution dans la population est choisie comme le représentant pour chaque test. Le nombre maximum de générations dans notre AE est un paramètre clé de la méthode.

La Figure V-14 présente les résultats de la variation du nombre de générations entre n et $2n$. L'axe des ordonnées représente la fonction objectif agrégative, la somme pondérée des quatre critères déjà définis dans le chapitre IV. Les colonnes en gris représentent les résultats lorsque le nombre de générations est fixé à n et en noir lorsque le nombre de générations est fixé à $2n$. La figure montre que l'exécution de l'algorithme avec $2n$ générations ne trouve pas forcément de meilleures solutions. En effet, suite à une analyse de la base de données fournie par le SUP, nous avons identifié quatre instances correspondant à une période de crise 2012, une période de crise 2013, une période normale 2012 et une période normale 2013. Sur ces quatre instances, $2n$ générations a dégradé 3 fois la fonction fitness par rapport à n

génération. Ceci peut être expliqué par la complexité de problème pour les cas considérés et l'existence d'opérations de soins morcelables et non morcelables.

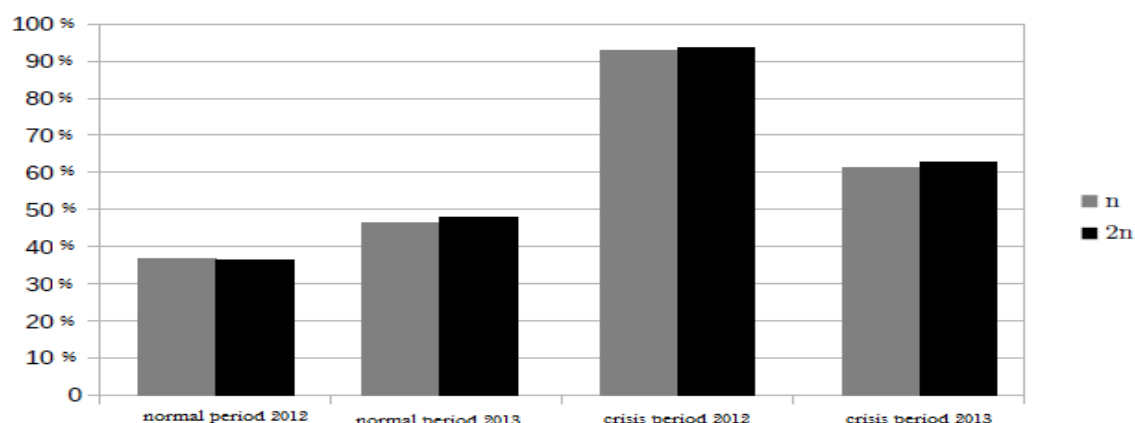


Figure V-14 : L'impact du nombre de générations sur les instances

D'autre part, l'augmentation du nombre d'itérations maximales a une influence. Le temps d'exécution peut augmenter d'au moins 10 % si le nombre maximal d'itérations est doublé. Ceci est en effet un inconvénient pour certains SU étant donné qu'ils cherchent à avoir une planification des tâches le plus rapidement possible.

La probabilité de l'application de la recherche locale (processus d'affectation) peut être un facteur clé dans notre approche. Le Tableau V-15 montre les effets sur les quatre instances avec les différentes valeurs de p_m . Ces valeurs sont considérées pour tester si une forte probabilité permettrait d'améliorer l'algorithme. Les colonnes 0.1, 0.4, 0.5 et 0.6 présentent les valeurs testées de p_m . Chaque colonne contient deux autres colonnes: le temps d'exécution (CPU) en secondes et la qualité de la solution (Coût). La valeur par défaut pour p_m étant de 0,1. Les résultats montrent que l'augmentation de la probabilité de l'appel de la recherche locale n'est pas toujours bénéfique. Ceci peut être expliqué par le fait que l'appel fréquent à la recherche locale n'améliore pas nécessairement la meilleure solution dans la population.

Tableau V-15 : Impact de p_m sur les 4 Instances

	0.1		0.4		0.5		0.6	
	CPU	Coût	CPU	Coût	CPU	Coût	CPU	Coût
Situation Normale 2012	55.318	0.3287	53.903	0.3639	55.749	0.3319	51.099	0.3618
Situation Normale 2013	74.431	0.6073	77.871	0.6267	61.722	0.6226	83.289	0.6207
Situation de crise 2012	93.689	0.9067	102.6	0.9318	103.13	0.9500	98.456	0.9458
Situation de crise 2013	151.66	0.4525	143.61	0.4935	200.5	0.4648	143.32	0.4664

La Figure V-15 représente une comparaison entre le temps de traitement des patients avec et sans avoir utilisé notre système SysCAOO. Ce temps correspond au temps passé dans le SUP par chaque patient. Le temps de traitement réel est déduit de la base de données qui nous a été fournie.

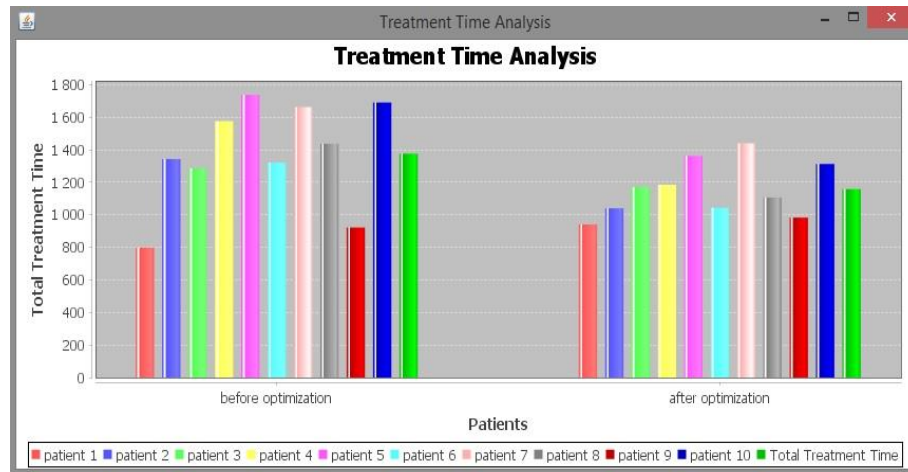


Figure V-15 : Analyse du temps de séjour des patients au SUP

Le graphique montre une diminution du temps que les patients ont passé dans le SUP. La dernière barre verticale verte sur la figure représente la durée moyenne de traitement des 10 patients. La comparaison montre une réduction du temps moyen passé dans le SUP et donc une amélioration du critère Cr_3 .

Le deuxième critère que nous avons choisi pour évaluer notre SysCAOO est le temps d'attente global des patients : Cr_2 .

Le graphique de la Figure V-16 représente une comparaison entre le temps d'attente des patients en utilisant notre approche et le temps d'attente déduit de la base de données réelle du SUP. Il montre que le temps d'attente moyen est de 40 minutes en utilisant notre approche au lieu de 3h en période de crise.

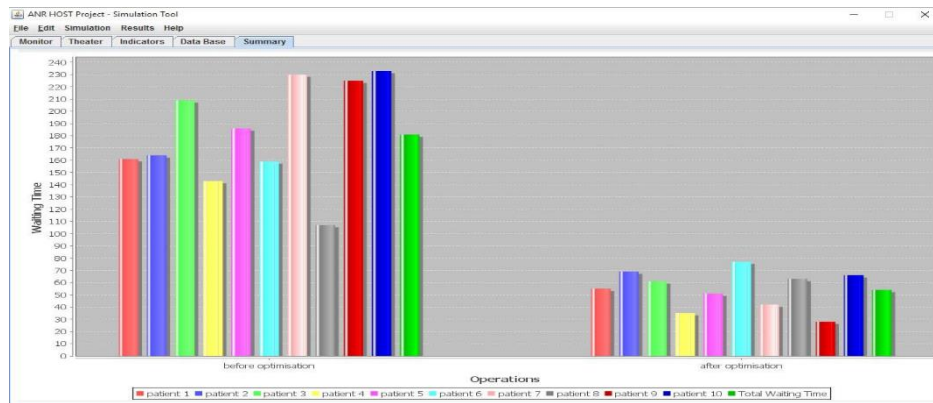


Figure V-16 : Analyse du temps d'attente

V.7 Test et résultats de l'évaluation agrégative dynamique

Nous considérons l'arrivée de 4 patients au SUP. Cela correspond à 4 patients à traiter; chaque traitement d'un patient correspond à l'exécution d'un ensemble d'opérations de soins. Nous avons 3 membres du personnel médical chargés de traiter les patients. Ils ont différents niveaux de compétences. Plus de détails sont donnés dans la Table V-1.

Table V-1 : Temps d'exécution des opérations de soins :

		m_1	m_2	m_3
P_1	$O_{1,1}$	2	5	4
	$O_{2,1}$	5	4	5
	$O_{3,1}$	4	5	5
P_2	$O_{1,2}$	2	5	4
	$O_{2,2}$	5	6	9
	$O_{3,2}$	4	5	4
P_3	$O_{1,3}$	9	8	6
	$O_{2,3}$	6	1	2
	$O_{3,3}$	2	5	4
	$O_{4,3}$	4	5	2
P_4	$O_{1,4}$	1	5	2
	$O_{2,4}$	5	1	2

Cette table contient les différents temps d'exécution des opérations de soins en cours d'exécution par les différents membres du personnel médical. La différence de durée est due aux différents niveaux de compétences qu'ils possèdent. En fait, le membre le plus qualifié du personnel médical prend le moins de temps pour l'exécution de l'opération de soins. Les dates de début au plutôt et les dates d'arrivée des patients sont données dans la table suivante :

Table V-2 : Dates de début au plutôt et d'arrivée des patients

j	1	2	3	4
-----	---	---	---	---

r_j	3	5	1	6
t_j^{ent}	0	1	0	3

La date d'arrivée des patients correspond à la date d'entrée au SUP. Le calcul de $\gamma_{i,j}$ et $r_{i,j}$ est donné dans la Table suivante :

Table V-3 : Calcul de $\gamma_{i,j}$ et $r_{i,j}$

	$\gamma_{i,j}$	$r_{i,j}$
$O_{1,1}$	2	3
$O_{2,1}$	4	5
$O_{3,1}$	4	9
$O_{1,2}$	2	5
$O_{2,2}$	5	7
$O_{3,2}$	4	12
$O_{1,3}$	6	1
$O_{2,3}$	1	7
$O_{3,3}$	2	8
$O_{4,3}$	2	10
$O_{1,4}$	1	6
$O_{2,4}$	1	7

Calcul des bornes inférieures

1^{er} critère : $Cr_1^* = \sum_j \sum_i \gamma_{i,j} = 32$

2^{ème} critère : $Cr_2^* = \sum_{j=1}^N \max(0, c_j - d_j) = 3 + 4 + 1 + 3 = 11$

3^{ème} critère : $Cr_3^* = \min_S (r_j + \zeta_j(S))$

- Pour P1 : $(3+1+4+4) = 12$;
- Pour P2 : $(5+2+5+4) = 16$;
- Pour P3 : $(1+4+6+1+2) = 14$;
- Pour P4 : $(6+1+1) = 8$;

$$\text{Donc : } \max_j \left(r_j + \sum_i \gamma_{i,j} \right) = 16.$$

$$\text{4ème critère : } \forall S, Cr_4^*(S) = \frac{\sum_j \sum_i \gamma_{i,j}}{M}$$

Nous avons déjà $\sum_j \sum_i \gamma_{i,j} = 32$ et $M=3$, nous avons donc: $r_4^* = 32/3 = \lfloor 10,66 \rfloor = 11$

Les différents résultats sont résumés dans la Table V-4. Pour chaque instance et chaque poids, nous présentons les valeurs de la limite inférieure et les valeurs des critères pour la meilleure solution obtenue.

L'évaluation multicritère des solutions est réalisée à l'aide d'un compromis entre tous les critères pour être optimisée en fonction des poids prédéfinis et des bornes inférieures. Cette évaluation est représentée par la valeur V_G liée à l'évaluation globale de la solution. V_G est calculée par la formule suivante:

$$V_G = \sum_{1 \leq q \leq 4} w_q \cdot \frac{Cr_q}{Cr_q^*} \text{ avec } w_q \in [0, 1] \text{ pour } 1 \leq q \leq 4 \text{ et } \sum_{1 \leq q \leq 4} w_q = 1$$

Rappelons que les poids des différents critères sont calculés de façon dynamique au fur et à mesure des générations.

En outre, nous calculons la fonction globale et nous exprimons l'écart entre la valeur de la solution courante obtenue et la solution optimale, définie par la formule suivante:

$$\varepsilon (\%) = (V_G - 1) \cdot 100$$

Remarque: Le meilleur cas est quand $Cr_q = Cr_q^* (\forall q \in \{1, 2, 3, 4\})$, nous obtenons ainsi

$$V_G = 1 \text{ et } \varepsilon (\%) = 0 \%$$

Table V-4 : Résultats

Instances	Pondérations				Bornes inférieures				solutions				V_G	$\varepsilon (\%)$
	w_1	w_2	w_3	w_4	Cr_1^*	Cr_2^*	Cr_3^*	Cr_4^*	Cr_1	Cr_2	Cr_3	Cr_4		
I1	0.1	0.1	0.4	0.4	32	11	16	11	32	12	16	12	1.02	2.09 %
	0.1	0.5	0.2	0.2					34	13	17	11	1.106	10.6 %
	0.7	0.2	0	0.1					35	12	18	11	1.078	7.8 %
	0.6	0.1	0.2	0.1					33	11	17	11	1.022	2.2 %
	0.79	0.01	0.1	0.1					32	12	16	11	1	0 %
I2	0.5	0.5	0	0	38	18	42	36	38	18	42	36	1	0 %
I3	0.5	0.5	0	0	38	34	216	143	38	34	216	143	1	0 %
I4	0.5	0.5	0	0	63	63	315	287	63	63	315	287	1	0 %

Les résultats présentés dans la Table V-4 montrent que les solutions obtenues sont généralement très proches de l'optimum (selon les poids sélectionnés). Dans le cas général, le petit écart qui est dû à la difficulté de l'optimisation multi-objectif, qui implique plusieurs

critères non homogènes et conflictuels. Nous concluons donc la bonne qualité des bornes inférieures proposées et leur adéquation à la problématique abordée.

V.8 Scénarios de l'orchestration dynamique

V.8.1 Impact de l'orchestration sur le Gantt

Grâce aux données collectées suite aux plusieurs visites au SUP du CHRU de Lille, nous prenons un exemple (extrait de la base données 2011-2012-2013) d'un ensemble de patients (5 à 6) accueillis au SUP en 2013. Les différentes tâches identifiées pour la prise en charge de ces patients sont présentées dans le Tableau V-16.

Tableau V-16 : Tableau des tâches de soins

Tâche	Rôle
T1	Enregistrement du patient
T2	Accueil et orientation du patient
T3	Consultation médicale (CM)
T4	Transfert/Sortie
T5	Prise de sang
T6	Radiologie

Dans un premier temps, les parcours patients sont mis en œuvre en respectant l'ordonnancement proposé par l'AO c'est-à-dire l'ordre des tâches ne change pas au cours du temps. Dans ce cas, l'orchestration est dite statique. Dans un second temps, nous utilisons l'orchestration dynamique pour apporter des modifications à l'ordonnancement des tâches en fonction de l'évolution de l'état de santé des patients suite à des résultats des examens supplémentaires tels que la radiologie, l'IRM, l'échographie, etc.

Nous considérons l'arrivée de 6 patients le 25/05/2013 au SUP. Ces patients ont des niveaux de gravité différents (CCMU différents) et doivent subir des actes médicaux variés (Tableau V-17).

Tableau V-17 : Tableau des parcours de patients

Patients	Heure d'arrivée	Heure de sortie	CCMU	Pathologie	Actes	Sortie	Statut
P1	7h30	10h45	2	Asthme	CM	Domicile	Médical
P2	8h36	10h13	4	Insuffisance respiratoire chronique	CM	Transfert interne	Médical

P3	8h36	12h53	2	Hypovolémie	CM+prise de sang	Transfert interne	Médical
P4	9h42	11h29	2	Entorse de la cheville	CM+radio	Domicile	Chirurgical
P5	10h32	13h44	1	Perforation du tympan	CM	Domicile	Chirurgical
P6	10h37	11h47	2	Dyspnée	CM	Domicile	Médical

L'AO commence par réaliser une orchestration statique en respectant l'ordonnancement établi par l'AO représenté par le GANTT de la Figure V-17.

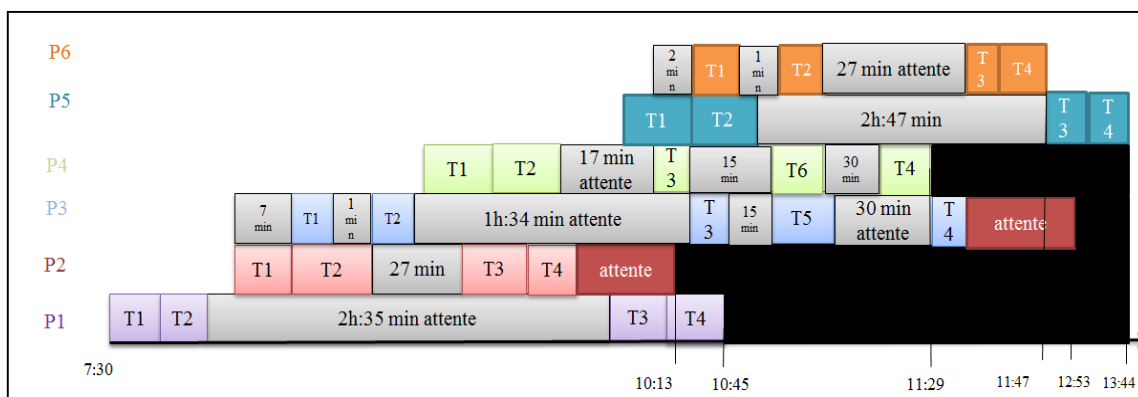


Figure V-17 : GANTT de l'orchestration fixe

L'AO, ayant généré un ordonnancement des différentes tâches de soin de ces patients (GANTT de la Figure V-17), il déclenche une orchestration statique respectant ce planning. Le patient (P3) a initialement un niveau d'urgence CCMU=2. Cependant, suite à un malaise au cours de sa prise en charge, le CCMU du patient P3 change (CCMU=3). Dans ce cas, puisque son pronostic vital est engagé, on peut déclencher l'orchestration dynamique et donc permuter l'ordre de traitement des patients. La tâche T3 du patient P3 doit donc être réalisée avant celles des patients P1, P4 et P6 ayant tous les 3 un CCMU moins important (CCMU=2). La Figure V-18 présente le résultat de l'orchestration dynamique.

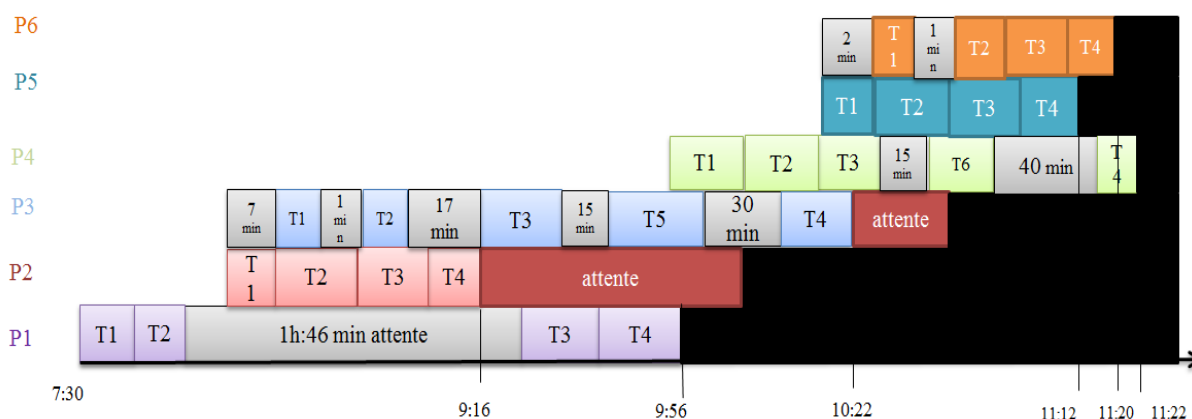


Figure V-18 : GANTT de l'orchestration dynamique

Grâce à l'orchestration dynamique, on privilégie les patients dont l'état de santé s'est dégradé au cours du temps (CCMU plus important). Ainsi, les files d'attente des patients sont réorchestrées non seulement en fonction de leur niveau de gravité mais aussi en fonction des temps d'attentes de chaque patient. Si un patient attend depuis 2 heures pour une consultation, et qu'un autre patient dans le même état attend depuis 25 min, c'est le premier qui est réorchestré en priorité.

L'orchestration dynamique du Workflow modélisant les parcours de ces 6 patients, nous a permis de gagner 2h15 min sur le temps d'attente global des patients. Néanmoins, nous constatons que les patients P2 et P3, doivent attendre à la fin de leur prise en charge pour un transfert interne. Ceci est dû à l'attente de lits, car ils doivent être hospitalisés dans un autre service de l'hôpital. Comme l'hôpital de Lille ne possède pas de tableaux de bords des lits disponibles dans les différents services du CHRU, cela peut prendre un temps indéterminé, d'où la représentation en rouge dans le GANT de ce temps d'attente à la fin de cette prise en charge. Ce temps d'attente est comptabilisé au SUP mais il n'est pas pris en compte dans le calcul du temps d'attente global des patients. L'existence d'un tableau de bords au SUP pourrait diminuer les temps d'attente et donc fluidifier les parcours patients.

V.8.2 Impact de l'orchestration dynamique sur le Workflow

Pour la simulation, nous avons choisi un scénario réel d'une journée de tension qui s'est manifestée au SUP le 07 Février 2013. Au cours de cette journée, le SUP a reçu environ 119 patients qui ont généré les pics les plus remarquables de l'année. La difficulté est de lisser ces pics d'activités et réduire le temps d'attente des patients.

Pour commencer la simulation, nous définissons un flux d'arrivée des patients et nous précisons les ressources nécessaires pour l'exécution des opérations de soins en tenant compte des compétences du personnel médical et des disponibilités des ressources.

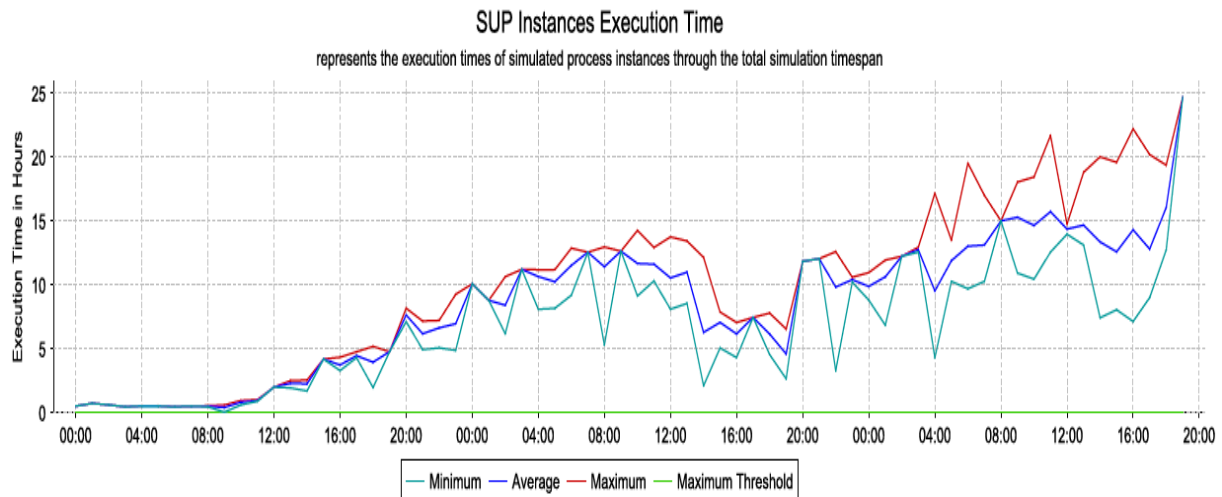


Figure V-19 : Temps d'attente moyen avec orchestration statique

Les résultats obtenus représentent des courbes qui indiquent les temps d'attente global minimal, maximal et moyen des patients au SUP. Nous présentons en premier lieu les résultats donnés par l'AO qui s'est attribué le rôle d'un ordonnanceur en utilisant l'approche évolutionnaire avec orchestration statique. Ensuite, nous montrons que la communication de l'AO avec les autres agents pour orchestrer dynamiquement le Workflow du parcours patient a permis de réduire les temps d'attente.

D'après la Figure V-19, nous remarquons que durant cette journée de tension, le temps d'attente moyen diverge. La moyenne d'attente est estimée à 10 heures. Le personnel médical se trouve ainsi incapable de faire face à l'augmentation du flux de patients arrivant au SUP.

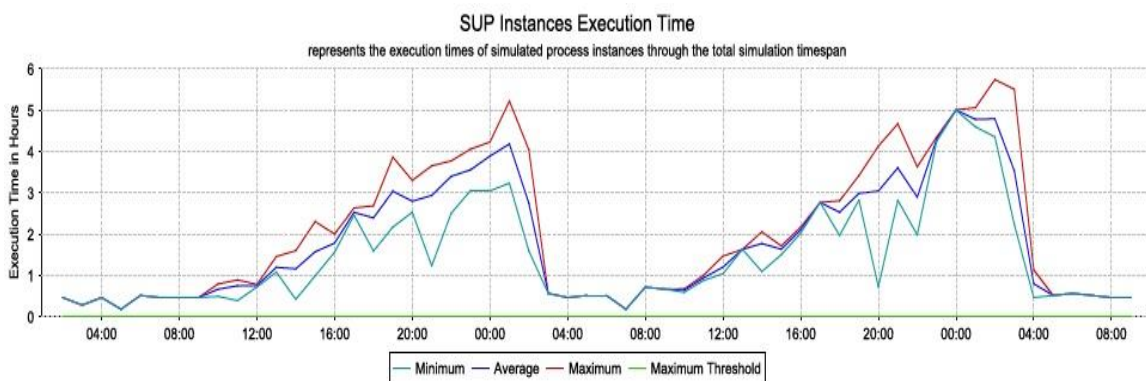


Figure V-20 : Temps d'attente moyen avec orchestration dynamique

La Figure V-20 montre que l'approche d'optimisation basée sur l'alliance entre les approches d'ordonnancement et les SMA a permis de lisser les pics d'activités au SUP et minimiser le temps d'attente global moyen des patients. En effet, l'AO joue le rôle d'un chef d'orchestre, il coordonne ses actions avec les autres agents afin d'assurer une orchestration dynamique adaptée à la situation réelle du SUP. Dans ce cas, le temps d'attente varie entre 1 heure et 4

heures. Cependant, nous remarquons qu'il y a toujours un pic d'activité à minuit qui perturbe le SUP.

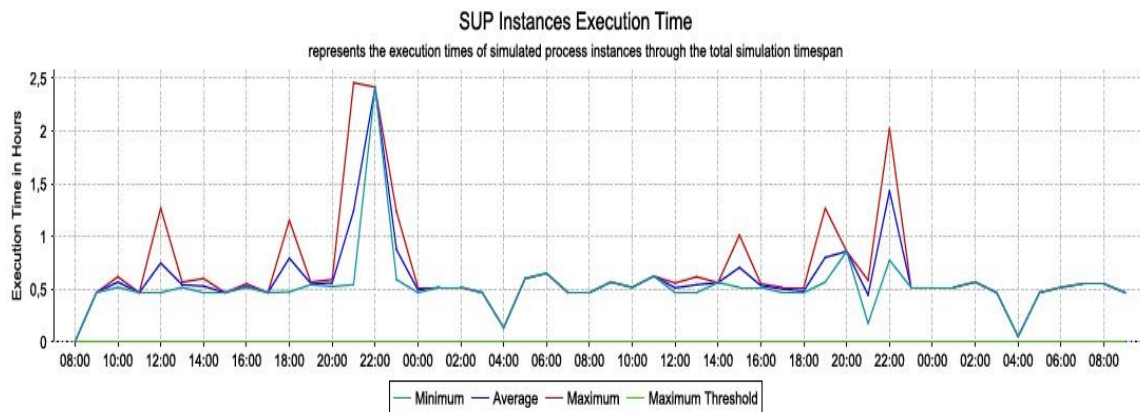


Figure V-21 : Temps d'attente moyen avec réorchestration

Les précédentes actions d'orchestration n'ont pas réussi à absorber tous les pics d'activités du SUP. Ainsi, nous allons avoir recours à la négociation entre les agents de la coalition formée pour réorchestrer dynamiquement le Workflow des parcours patients restants. Cette négociation est basée sur la prise en compte des résultats des examens supplémentaires (tests biologiques, radio, échographie, IRM, etc.) pour la prise de décision concernant l'orientation des patients.

Les résultats obtenus suite à la réorchestration dynamique sont présentés dans le graphique Figure V-21. Le temps d'attente moyen est réduit et sa moyenne varie entre 30 min et 2 h 30 min avec un pic entre 18 h et 00 h.

V.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons simulé notre système SysCAOO basé sur des agents communicants pour gérer les flux patients et améliorer la qualité de la prise en charge au SUP. Le SysCAOO est doté des approches d'ordonnancement et d'orchestration permettant, en cas de tension, de lisser la charge du personnel médical et réduire le temps d'attente. A partir de la base de données réelles 2011-2012-2013, nous avons effectué une analyse fine des différents indicateurs pouvant générer une situation de tension au SUP et donc des pics d'activités. Plusieurs résultats de simulation ont montré l'efficacité de l'alliance entre l'optimisation et les SMA. La robustesse de notre système réside dans la formation de coalitions d'agents et leurs protocoles de négociation afin de prendre des décisions d'orchestration permettant d'améliorer le temps d'attente en cours de la prise en charge et faire face aux aléas qui surviennent au SUP.

Conclusion générale et perspectives

La logistique dans le domaine de la santé est un secteur en pleine ascension qui vise à déployer efficacement les moyens techniques et informatiques pour optimiser la gestion du temps, limiter les risques d'erreurs et anticiper la tension dans un domaine où le facteur humain est fortement présent. L'état de tension au sein des établissements de santé peut être décrit par des indicateurs liés à des facteurs internes tels que l'augmentation du nombre de patients ; l'augmentation de la complexité des cas ; le manque de structure de soins en dehors des heures ouvrables ; le manque de lits ; la multiplication des tests diagnostiques, le temps d'attente des patients, etc. En outre, l'accroissement régulier et rapide d'importantes quantités de données sur les réseaux hospitaliers à grande échelle et le besoin imminent de contrôler et d'analyser ces données, nécessite la présence de logiciels d'administration et d'optimisation au sein des organisations concernées. Cependant, une multitude de tâches de natures aussi différentes que variées peuvent toucher ces données qui risquent d'être distribuées, dynamiques et même approximatives. Nous avons proposé donc dans ce mémoire d'utiliser ces flux logistiques concernant les données patients, personnel médical, informationnelles,... pour concevoir, optimiser et mettre en œuvre un système collaboratif d'aide à l'ordonnancement et l'orchestration des tâches des soins à compétences multiples. Ce système a intégré un Workflow collaboratif présenté dans le chapitre III contenant divers types de modules pour l'accomplissement de différents processus pouvant être complémentaires, rationnels et interactifs, regroupant de la manière la plus exhaustive possible le maximum d'informations opportuns pour le parcours patient dans le SUP.

Nous avons également proposé dans le chapitre IV une architecture à base d'agents qui représente une approche pertinente de modélisation pour une meilleure flexibilité, cohérence, ouverture et interaction entre des entités autonomes et rationnelles pour gérer les tensions au sein de SUP. En effet, nous avons doté les agents de cette architecture par des rôles et des comportements optimisateurs et ordonnanceurs pour gérer au mieux la prise en charge des patients au SUP. Grâce à l'interaction entre ces agents, nous avons mis au point une approche d'orchestrations dynamiques des processus des soins modélisés par le Workflow afin d'améliorer les valeurs de nos critères en cours de son exécution. Nous avons donc créé dans cette thèse un système d'aide à la décision collaboratif (SysCAOO) basé sur trois couches présentées dans la dernière partie du chapitre IV : une couche mathématique et algorithmique, une couche à base d'agents communicants et une couche terrain à base de Workflow collaboratif. Le SysCAOO ainsi établi est en même temps générique, composé d'un ensemble de comportement d'agents avec des caractéristiques différentes et complémentaires, et spécifique sur mesure, en paramétrant ces agents selon le besoin du parcours patient pour améliorer de la meilleure façon possible sa prise en charge. Le nombre d'agents du système conçu n'étant pas déterminé d'avance, le système, grâce à sa grande flexibilité, permet l'ajout, la suppression et la modification des agents sans pour autant

affecter le fonctionnement de l'ensemble du système ni le fonctionnement propre de chacun des modules qui le composent.

L'« agentification » du SysCAOO, c'est-à-dire sa modélisation sous formes de 3 couches autonomes, rationnelles et interactives permet sa grande cohérence, évolution et complémentarité. Ces aspects correspondent parfaitement au domaine de la santé et en particulier le SUP dans lequel les données ne sont pas assez précises, lisibles et accessibles pour une gestion parfaite des ressources. En effet, ces données sont souvent homogènes, distribuées, approximatives, redondantes, etc.

Ces travaux de recherche s'intègrent dans le cadre du projet ANR HOST (2012-2015): « Hôpital : Optimisation, Simulation et évitement des Tensions » dans son programme : Technologie pour la santé et l'autonomie (TecSan) 2011. Nous nous sommes donc basés sur l'expérience des médecins urgentistes partenaires du projet HOST ainsi que sur les données recueillies (entre 2011 et 2013) pendant les visites réalisées au SUP du CHRU de Lille. Nous avons donc simulé et testé plusieurs scénarii dans le chapitre V dans le but d'évaluer SysCAOO en appliquant l'interaction entre les agents de notre système pour ordonnancer et orchestrer dynamiquement des modèles Workflow afin d'améliorer en cours d'exécution la prise en charge des patients au sein du SUP. Dans la fin du chapitre V, nous avons comparé l'apport de l'orchestration dynamique par rapport à l'orchestration statique au profit de l'amélioration de nos critères.

Cette thèse présente plusieurs perspectives scientifiques et techniques :

1. Améliorer la modélisation du système global sous formes d'entités autonomes, rationnelles et interactives en intégrant des algorithmes de négociations ;
2. Enrichir la mise en œuvre du comportement de chaque agent de notre système sachant qu'un agent peut lui-même représenter une société d'agents (agent holonique) ainsi que la définition et la modélisation de son architecture interne ;
3. Renforcer la mise en œuvre de protocoles d'interaction entre ces différents process : Agents et Workflow ;
4. Résoudre un problème particulier en santé peut nécessiter l'intervention sous formes de coalitions, d'un sous-ensemble d'agents et spécifier ce processus particulier de formation de coalitions ;
5. Associer de technologies d'identification et notamment la technologie RFID aux différentes ressources du domaine de la santé (i.e. poches de sang, lit d'hôpital, défibrillateur, etc.). Ces ressources sont utilisées par les différents agents pour la gestion et l'optimisation du système.

GLOSSAIRE

AA : Agent Accueil

ACF : Algorithmes de Colonies de Fourmis

AE : Algorithme Evolutionnaire

AG : Algorithmes Génétiques

AGES : Algorithme Génétique à l'Etat Stable

AId : Agent Identificateur

AIE : Agent Intégration et Evaluation

AM : Algorithmes Mémétiques

AMO : Assurance Maladie Obligatoire

AMV : Assurance Maladie Volontaire

AO : Agent Ordonnanceur

APM : Agents du Personnel Médical

AR : Agent Ressources

ARS : Agence Régionale de la Santé

AT : Agent Traceur

BPMN : Business Process Modeling Notation

c_j : la date de fin de traitement théorique du patient P_j ,

$C_{i,j,k}$: compétence du personnel médical m_k nécessaire pour l'exécution de l'opération $O_{i,j}$,

Cr_1 : critère correspondant à la réduction de la charge de travail totale des membres du personnel médical

Cr_2 : Critère correspondant à la réduction du temps d'attente global des patients

Cr_3 : Critère correspondant à la réduction du temps de réponse pour les tâches de soins

Cr_4 : Critère correspondant à l'équilibrage de la charge de travail du personnel médical

Cr_1^* : Borne inférieure du critère Cr_1

Cr_2^* : Borne inférieure du critère Cr_2

Cr_3^* : Borne inférieure du critère Cr_3

Cr_4^* : Borne inférieure du critère Cr_4

CCMU : Niveau de gravité de la pathologie

CCNU : Centre de Coordination Nationales des Urgences

CHRU : Centre hospitalier régional universitaire de Lille

CPS : Carte de Professionnel de Santé

CSP : Code de la Santé Publique

$d_{i,j,k}$: temps d'exécution théorique de l'opération $O_{i,j}$ effectuée par le personnel médical m_k ,

d_j : date de fin de traitement réelle du patient P_j .

DEP : Dossier Electronique du Patient

DMP : Dossier Médical Personnalisés

ETG : Echelle de Triage et de Gravité

FA : Fonctions d'Appartenance
 GEMSA : Groupe d'Etude Multicentrique des Services d'Accueil
 GHD : Groupe Homogène de Diagnostic
 HOST : projet « Hôpital, Optimisation, Simulation et évitement de la Tension »
 HPST : Hôpital, Patients, Santé et Territoires
 IA : Intelligence Artificielle
 ICIS : Institut Canadien d'Information sur la Santé
 IDE : Infirmières Diplômées d'Etat
 I.A.O : Infirmière d'Accueil et d'Orientation.
 MMG : Maisons Médicales de Garde
 MS : un ensemble de M membres du personnel médical,
 n_p^R : nombre de salles de soins disponibles dans la période p,
 NP: un ensemble de N patients à traiter,
 $O_{i,j}$: i-ième opération de soins correspondant à un patient P_j .
 OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques
 OMS : Organisation Mondiale de la Santé
 ONDAM :Objectif National des Dépenses Assurance Maladie
 P_j^s : sous-ensemble de patients correspondant aux opérations de soins morcelables,
 P_j^{ns} : sous-ensemble de patients correspondant aux opérations de soins non morcelables,
 PA : Personnes Agées
 PDP : Pick-up and Delivery Problem
 PDS : Permanence Des Soins
 PMSI : Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information
 POC : Problème d'Optimisation Combinatoire
 POSU : POles Spécialisés d'accueil et de traitement des Urgences
 PSRS : Plan Stratégique Régional de la Santé
 R: ensemble de toutes les salles de soins disponibles,
 $r_{i,j,k}$: la date de disponibilité au plus tôt du personnel médical m_k pour l'opération $O_{i,j}$,
 r_j : la date de début au plus tôt du traitement du patient P_j ,
 RLI : Recherche Locale Itérative
 RS : Recuit Simulé
 RT : Recherche Tabou
 RVV : Recherche à Voisinage Variable
 S: ensemble de sites dans le CHRU de Lille (radiologie, IRM, site pour les tests biologiques)
 S_r^R : capacité de la salle de soins r.
 SIAD : Systèmes Interactifs d'Aide la Décision
 SAMU : Services d'Aide Médicale d'Urgence
 SAUV : Salle d'Accueil Urgences Vitales

SMUR : Services Mobiles d'Urgence et de Réanimation

SAU : Services d'Accueil des Urgences

SBA : Système Basé sur les Agents

SED : Simulation à événements discrets

SUP : Services des Urgences Pédiatriques

SysCAOO : Système Collaboratif d'Aide à l'Ordonnancement et l'Orchestration

$t_{i,j}$: date de début d'exécution de l'opération $O_{i,j}$,

t_j^{ent} : date d'arrivée du patient P_j ,

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication

UHCD : Unité d'Hospitalisation de Courte Durée

UPATOU : Unité de Proximité, d'Accueil, de Traitement et d'Orientation des Urgences

USR : Unité de Soins Rapide

W : la charge de travail de tous les membres du personnel médical

W_k : la charge de travail du personnel médical m_k ,

$\gamma_{i,j}$: la durée théorique minimale d'exécution de l'opération de soins $O_{i,j}$,

BIBLIOGRAPHIE

- Abo-Hamad, Waleed, et Amr Arisha. « Simulation-based framework to improve patient experience in an emergency department ». *European Journal of Operational Research* 224.1 (2013): 154-166. *ScienceDirect*. Web.
- Adan, Ivo et al. « Improving operational effectiveness of tactical master plans for emergency and elective patients under stochastic demand and capacitated resources ». *European Journal of Operational Research* 213.1 (2011): 290-308. *ScienceDirect*. Web.
- Aggleton, Peter et al. *AIDS in Europe: New Challenges for the Social Sciences*. Routledge, 2002. Print.
- Ahmed, Mohamed A., et Talal M. Alkhamis. « Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait ». *European Journal of Operational Research* 198.3 (2009): 936-942. *ScienceDirect*. Web.
- Aickelin, Uwe, et Kathryn A. Dowsland. « An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem ». *Computers & Operations Research* 31.5 (2004): 761-778. *ScienceDirect*. Web.
- Alexopoulos, Christos et al. « Modeling patient arrivals in community clinics ». *Omega* 36.1 (2008): 33-43. *ScienceDirect*. Web. Special Issue Section: Papers presented at the INFORMS conference, Atlanta, 2003.
- Anagnostou, A., A. Nouman, et S.J.E. Taylor. « Distributed hybrid agent-based discrete event emergency medical services simulation ». *Simulation Conference (WSC), 2013 Winter*. N.p., 2013. 1625-1636. *IEEE Xplore*. Web.
- Arya, Rajiv et al. « Decreasing Length of Stay in the Emergency Department with a Split Emergency Severity Index 3 Patient Flow Model ». *Academic Emergency Medicine: Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine* 20.11 (2013): 1171-1179. *PubMed*. Web.
- Asha, Stephen Edward, et Allan Ajami. « Improvement in Emergency Department Length of Stay Using an Early Senior Medical Assessment and Streaming Model of Care: A Cohort Study ». *Emergency medicine Australasia: EMA* 25.5 (2013): 445-451. *PubMed*. Web.
- Ashour, Omar M., et Gül E. Okudan Kremer. « A simulation analysis of the impact of FAHP–MAUT triage algorithm on the Emergency Department performance measures ». *Expert Systems with Applications* 40.1 (2013): 177-187. *ScienceDirect*. Web.
- Augusto, Vincent. « Modélisation, analyse et pilotage de flux en milieu hospitalier à l'aide d'UML et des réseaux de Petri ». phdthesis. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2008. *tel.archives-ouvertes.fr*. Web. 25 sept. 2015.
- Barrick, Ivan J. *Transforming Health Care Management: Integrating Technology Strategies: Integrating Technology Strategies*. Jones & Bartlett Publishers, 2009. Print.
- Bellou, A et al. « Place des services d'Urgences dans la régulation des hospitalisations publiques ». *La Revue de Médecine Interne* 24.9 (2003): 602-612. *ScienceDirect*. Web.
- Ben Othman S., Zoghلامي N., Hammadi S., Management, The 2014 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (2014-a), Varsovie, Pologne.
- Ben Othman S., Zoghلامي N., Hammadi S., Quilliot A., Martinot A., Renard J.M., An agent-based scheduling approach for Patient's journey optimization in the Pediatric Emergency Department, 18th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2014) (2014-b), Les iles de Santorin, Grèce.
- Ben Othman S., Hammadi S., Quilliot A., Agents Endowed with Uncertainty Management Behaviors to Solve a Multi-Skill Health Care Tasks Scheduling, in proceedings of the 17th International Symposium on Health Information Management Research (ISHIMR 2015), (2015-a), York, Angleterre.

- Ben Othman S., Hammadi S., Quilliot A., Martinot A., Renard J.M., Health Care Decision Support System for the Pediatric Emergency Department Management, in proceedings of The 15th World Congress on Health and Biomedical Informatics (MEDINFO'2015) (2015-b)São Paulo, Brésil.
- Ben Othman S., Zoghalmi N., Hammadi S., Quilliot A., Multi-Objective Evolutionary for Multi-Skill Health Care Tasks Scheduling, in proceedings of the 15th IFAC/IEEE/IFIP/IFORS Symposium/ Information Control Problems in Manufacturing (2015-c), Ottawa, Canada.
- Ben Othman S., Hammadi S., Quilliot A., Agent-based Evolutionary Algorithm for Multi-Skill Health Care Tasks Scheduling, in proceedings of the XI Metaheuristics International Conference (MIC'2015) (2015-d), Agadir, Maroc
- Beuscart R. « Document ORTIS » Fiche Innovation (2009).
- Bigot R et Croutte P. *La diffusion des technologies de l'information dans la société française* (2007). Paris, Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/etude-credoc2006.pdf, accessed 25 Septembre 2015).
- Blum, Christian, et Andrea Roli. « Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison ». *ACM Comput. Surv.* 35.3 (2003): 268–308. *ACM Digital Library*. Web.
- Bonnet N, Pavillon C (2009). La participation des médecins au dispositif de permanence des soins ambulatoires. *Points de Repère*, 28. Paris, Caisse nationale d'assurance maladie (http://www.ameli.fr/fileadmin/user_upload/documents/Points_de_repere_n__28.pdf, accessed 27 August 2010).
- Bougmiza, Iheb et al. « Evaluation de la satisfaction des patientes hospitalisées au service de gynécologie obstétrique de Sousse, Tunisie ». *The Pan African Medical Journal* 8 (2011): n. pag. *PubMed Central*. Web. 25 sept. 2015.
- Brailsford, S. C. et al. « Emergency and on-Demand Health Care: Modelling a Large Complex System ». *Journal of the Operational Research Society* 55.1 (2004): 34-42. *www.palgrave-journals.com*. Web.
- Brailsford, S. C., et N. A. Hilton. « A comparison of discrete event simulation and system dynamics for modelling health care systems ». *Planning for the Future: Health Service Quality and Emergency Accessibility*. Éd. par J. Riley. Glasgow. Glasgow Caledonian University, 2001. *eprints.soton.ac.uk*. Web. 25 sept. 2015.
- Brandao de Souza, L. (2009) Trends and approaches in lean healthcare, *Leadership in Health Services*, 22(2), pp.121-139.
- Cabrera, Eduardo, Emilio Luque, et al. « ABMS Optimization for Emergency Departments ». *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Berlin, Germany: Winter Simulation Conference, 2012. 89:1–89:12. *ACM Digital Library*. Web. 25 sept. 2015. WSC '12.
- Cabrera, Eduardo, Manel Taboada, et al. « Simulation Optimization for Healthcare Emergency Departments ». *Procedia Computer Science* 9 (2012): 1464-1473. *ScienceDirect*. Web. Proceedings of the International Conference on Computational Science, ICCS 2012.
- Carlier, J., et E. Pinson. « An Algorithm for Solving the Job-Shop Problem ». *Management Science* 35.2 (1989): 164-176. *pubsonline.informs.org (Atypon)*. Web.
- Carter, Michael W., et Sophie D. Lapierre. « Scheduling Emergency Room Physicians ». *Health Care Management Science* 4.4 (2001): 347-360. *link.springer.com*. Web.
- Černý, V. « Thermodynamical Approach to the Traveling Salesman Problem: An Efficient Simulation Algorithm ». *Journal of Optimization Theory and Applications* 45.1 (1985): 41-51. *link.springer.com*. Web.

- Chan, Wai Kin Victor, Young-Jun Son, et Charles M. Macal. « Agent-based Simulation Tutorial - Simulation of Emergent Behavior and Differences Between Agent-based Simulation and Discrete-event Simulation ». *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Baltimore, Maryland: Winter Simulation Conference, 2010. 135–150. *ACM Digital Library*. Web. 25 sept. 2015. WSC '10.
- Chern, Ching-Chin, Pei-Szu Chien, et Shu-Yi Chen. « A heuristic algorithm for the hospital health examination scheduling problem ». *European Journal of Operational Research* 186.3 (2008): 1137-1157. *ScienceDirect*. Web.
- Chevreur K, Durand-Zaleski I (2009). The role of HTA in coverage and pricing decisions in France: toward a new paradigm? *Euro Observer*, 11:5–6.
- Chevreur K, Durand-Zaleski I, Bahrami S, Hernández-Quevedo C et Mladovsky P. France: Health system review. *Health Systems in Transition*. (2010) 12(6): 1– 291.
- Chien, Chen-Fu, Fang-Pin Tseng, et Chien-Hung Chen. « An evolutionary approach to rehabilitation patient scheduling: A case study ». *European Journal of Operational Research* 189.3 (2008): 1234-1253. *ScienceDirect*. Web.
- Chinosi, Michele, et Alberto Trombetta. « BPMN: An introduction to the standard ». *Computer Standards & Interfaces* 34.1 (2012): 124-134. *ScienceDirect*. Web.
- Chodosas (2002) "Etude de l'organisation des différents systèmes d'urgence dans cinq pays européens : la France, le Royaume-Uni, la Belgique, la Suède, la Finlande et la Norvège".
- Chung, Christopher A. *Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach*. CRC Press, 2003. Print.
- Collette, Y., et P. Siarry. *Optimisation multiobjectif*. Paris: Eyrolles, 2002. Print.
- Colombier G. *50 propositions pour une meilleure prise en charge des Urgences médicales*. N.p., 2007. Print.
- Connelly, Lloyd G., et Aaron E. Bair. « Discrete Event Simulation of Emergency Department Activity: A Platform for System-Level Operations Research ». *Academic Emergency Medicine* 11.11 (2004): 1177-1185. *Wiley Online Library*. Web.
- Cooke, Matthew (Professor of clinical systems design) et al. *Reducing attendances and waits in emergency departments : a systematic review of present innovations*. [London]: [National Co-ordinating Centre for NHS Service Delivery and Organisation R & D (NCCSDO)], 2004. *wrap.warwick.ac.uk*. Web. 25 sept. 2015.
- Corne, D., M. Dorigo, F. Glover, D. Dasgupta, P. Moscato, R. Poli, and K. V. Price. 1999. "New ideas in optimization". In: McGraw-Hill Ltd., UK.
- Daknou A., Zgaya H., Hammadi S., Hubert H.. Agent based optimization and management of healthcare processes at the emergency department , *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, Issue 3, Volume 2, ID number mcs-99, 2012.
- Daniel C et al. (2006). *Contrôle et évaluation du fonds d'aide à la qualité des soins de ville et de la dotation de développement des réseaux*. Paris, Inspection générale des affaires sociales (<http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/064000726/0000.pdf>, accessed 25 September 2015).
- Davies, R. « See and Trea; in an emergency department ». *Simulation Conference, 2007 Winter*. N.p., 2007. 1519-1522. *IEEE Xplore*. Web.
- Deelman, Ewa et al. « Workflows and e-Science: An overview of workflow system features and capabilities ». *Future Generation Computer Systems* 25.5 (2009): 528-540. *ScienceDirect*. Web.
- Demazeau, Yves. « From Interactions To Collective Behaviour In Agent-Based Systems ». In: *Proceedings of the 1st. European Conference on Cognitive Science*. Saint-Malo. N.p., 1995. 117–132. Print.

- Demir, Eren et al. « Profiling Hospitals Based on Emergency Readmission: A Multilevel Transition Modelling Approach ». *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 108.2 (2012): 487-499. www.cmpbjournal.com. Web.
- Derle R. W. et Richards J. R. (2000) Overcrowding in the nation's emergency departments: complex causes and disturbing effects, *Annals of Emergency Medicine*, 35 (1), pp. 63-68.
- Devaraj, Sarv, Terence T. Ow, et Rajiv Kohli. « Examining the impact of information technology and patient flow on healthcare performance: A Theory of Swift and Even Flow (TSEF) perspective ». *Journal of Operations Management* 31.4 (2013): 181-192. *ScienceDirect*. Web.
- DMES (1998). « Classification de l'activité des unités de prise en charge des urgences ». Dossier du Ministère de l'Emploi et de la Solidarité - Direction des Hôpitaux. Mission PMSI, mars 1998.
- DREES 2013 : Le panorama des établissements de santé édition 2013, chapitre 1 les urgences hospitalières
- DREES 2014 : Le panorama des établissements de santé édition 2014, chapitre 1 les urgences hospitalières
- Dubiel, B., et O. Tsimhoni. « Integrating agent based modeling into a discrete event simulation ». *Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter*. N.p., 2005. 9 pp.-. *IEEE Xplore*. Web.
- Escudero-Marin, Paula, et Michael Pidd. « Using ABMS to Simulate Emergency Departments ». *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Phoenix, Arizona: Winter Simulation Conference, 2011. 1239–1250. *ACM Digital Library*. Web. 25 sept. 2015. WSC '11.
- Espinoza M. "Urgences : les systèmes britanniques et français, deux mondes différents en Europe", Agence de Presse Médicale - 13/04/2005.
- Fei, Hongying et al. « The endoscopy scheduling problem: A case study with two specialised operating rooms ». *International Journal of Production Economics* 120.2 (2009): 452-462. *ScienceDirect*. Web. Special Issue on Introduction to Design and Analysis of Production Systems.
- Fenina A et al. (2007). Les comptes nationaux de la santé en 2006. *Etudes et Résultats*, 593. Paris, Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (<http://www.sante-sports.gouv.fr/IMG/pdf/er593.pdf>, accessed 21 September 2010).
- Feo, Thomas A., et Mauricio G. C. Resende. « Greedy Randomized Adaptive Search Procedures ». *Journal of Global Optimization* 6.2 (1995): 109-133. link.springer.com. Web.
- Fiegl, Christian, et Carsten Pontow. « Online scheduling of pick-up and delivery tasks in hospitals ». *Journal of Biomedical Informatics* 42.4 (2009): 624-632. *ScienceDirect*. Web.
- Figueras et al. « Hospitals in a changing Europe European » Observatory on Health Care Systems Series. Edited by Josep Figueras, Martin McKee, Elias Mossialos and Richard B. Saltman Edited by Martin McKee and Judith Healy - Open University Press - Buckingham · Philadelphia - 2002.
- Fone, David et al. « Systematic Review of the Use and Value of Computer Simulation Modelling in Population Health and Health Care Delivery ». *Journal of Public Health* 25.4 (2003): 325-335. jpubhealth.oxfordjournals.org. Web.
- Franc C, Polton D. New governance arrangements for French health insurance. *Eurohealth*, (2006). 12:27–29.
- Gagneux M, Strohl-Maffesoli H (2003). *Santé, pour une politique de prévention durable*. Paris, Inspection générale des affaires sociales (IGAS rapport annuel) (<http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/034000331/0000.pdf>).
- M. Gagneux. Pour un dossier patient virtuel et partagé et une stratégie nationale des systèmes d'information de santé. Rapport de la mission de relance du DMP – 23 avril 2008.
- Garey, Michael R., et David S. Johnson. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. New York, NY, USA: W. H. Freeman & Co., 1979. Print.

- Gayrard, P (2005). « adsp n° 52 - Urgences & demandes de soins en urgence : quelle prise en charge ? » N.p., s. d. Web. 25 sept. 2015.
- Gentil, Stéphanie. « Les « agencements organisationnels » des situations perturbées : la coordination d'un bloc opératoire à la pointe de la rationalisation industrielle ». *Communiquer. Revue de communication sociale et publique* 8 (2013): 65-80. communiquer.revues.org. Web.
- Gerbeaux, Patrick et al. « Medical student effect on emergency department length of stay ». *Annals of Emergency Medicine* 37.3 (2001): 275-278. *ScienceDirect*. Web.
- Ghedjati, Fatima. « Genetic algorithms for the job-shop scheduling problem with unrelated parallel constraints: Heuristic mixing method machines and precedence ». *Computers & Industrial Engineering* 37.1–2 (1999): 39-42. *ScienceDirect*. Web. Proceedings of the 24th international conference on computers and industrial engineering.
- Glover, Fred. « Tabu Search and Adaptive Memory Programming — Advances, Applications and Challenges ». *Interfaces in Computer Science and Operations Research*. Éd. par Richard S. Barr, Richard V. Helgason, et Jeffery L. Kennington. Springer US, 1997. 1-75. link.springer.com. Web. 25 sept. 2015. Operations Research/Computer Science Interfaces Series 7.
- Glover, Fred W., et Gary A. Kochenberger. *Handbook of Metaheuristics*. Springer Science & Business Media, 2003. Print.
- GQ « Gouvernement du Québec » (2000) "Impact de la transformation du réseau montréalais sur la santé : collectif de recherche", Montréal, Direction de la santé publique de Montréal-Centre, Régie Régionale de la Santé et des Services Sociaux).
- Grall, Jean-Yves. *les maisons médicales de garde. rapport remis à monsieur xavier bertrand, ministre de la santé et des solidarités*. Paris : Ministère de la Santé et des Solidarités, 2006. Print.
- Green, Linda V. et al. « Using Queueing Theory to Increase the Effectiveness of Emergency Department Provider Staffing ». *Academic Emergency Medicine* 13.1 (2006): 61-68. *Wiley Online Library*. Web.
- Greenwood D. *JADE Web Service Integration Gateway (WSIG)*. Whitestein Technologies. Jade Tutorial. AAMAS 2005.
- Gruat la Forme F., Botta-Genoulaz V., Campagne J. (2007). Problème d'ordonnancement avec prise en compte des compétences. Résolution monocritère pour indicateurs de performance industriels et humains. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, vol. 41, n° 5, p. 617-642.
- Gunal, M. M., et M. Pidd. « Discrete Event Simulation for Performance Modelling in Health Care: A Review of the Literature ». *Journal of Simulation* 4.1 (2010): 42-51. www.palgrave-journals.com. Web.
- Gutjahr, Walter J., et Marion S. Rauner. « An ACO algorithm for a dynamic regional nurse-scheduling problem in Austria ». *Computers & Operations Research* 34.3 (2007): 642-666. *ScienceDirect*. Web. Logistics of Health Care Management Part Special Issue: Logistics of Health Care Management.
- Guttman, Mitchell et al. « lincRNAs Act in the Circuitry Controlling Pluripotency and Differentiation ». *Nature* 477.7364 (2011): 295-300. www.nature.com. Web.
- Hales, Keith, Mandy Lavery, et Ovum Ltd. *Workflow Management Software: The Business Opportunity*. Ovum Ltd, 1991. Print.
- Hancock, Walton M., et Paul F. Walter. « The Use of Computer Simulation to Develop Hospital Systems ». *SIGSIM Simul. Dig.* 10.4 (1979): 28–32. *ACM Digital Library*. Web.

- Hansen, Pierre, et Nenad Mladenović. « Variable neighborhood search: Principles and applications ». *European Journal of Operational Research* 130.3 (2001): 449-467. *ScienceDirect*. Web.
- Hay, A.M., E.C. Valentin, et R.A. Bijlsma. « Modeling Emergency Care in Hospitals: A Paradox - The Patient Should not Drive the Process ». *Simulation Conference, 2006. WSC 06. Proceedings of the Winter*. N.p., 2006. 439-445. *IEEE Xplore*. Web.
- Holland, John Henry. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. University of Michigan Press, 1975. Print.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production, *Journal of Operations Management*, 25, pp.420-437.
- Hoos, Holger H., et Thomas Stützle. *Stochastic Local Search: Foundations & Applications*. Elsevier, 2004. Print.
- Hoot, Nathan R., et Dominik Aronsky. « Systematic Review of Emergency Department Crowding: Causes, Effects, and Solutions ». *Annals of Emergency Medicine* 52.2 (2008): 126-136.e1. *ScienceDirect*. Web.
- Huang, Y., et P. Zuniga. « Effective Cancellation Policy to Reduce the Negative Impact of Patient No-Show ». *Journal of the Operational Research Society* 65.5 (2014): 605-615. *www.palgrave-journals.com*. Web.
- Hutzschenreuter, Anke K. et al. « Agent-based Patient Admission Scheduling in Hospitals ». *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Industrial Track*. Richland, SC: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2008. 45–52. *ACM Digital Library*. Web. 25 sept. 2015. AAMAS '08.
- Ieraci, Susan et al. « Streaming by Case Complexity: Evaluation of a Model for Emergency Department Fast Track ». *Emergency Medicine Australasia* 20.3 (2008): 241-249. *Wiley Online Library*. Web.
- Ishibuchi, H., et T. Murata. « A multi-objective genetic local search algorithm and its application to flowshop scheduling ». *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews* 28.3 (1998): 392-403. *IEEE Xplore*. Web.
- Jun, J. B., S. H. Jacobson, et J. R. Swisher. « Application of Discrete-Event Simulation in Health Care Clinics: A Survey ». *The Journal of the Operational Research Society* 50.2 (1999): 109-123. *JSTOR*. Web.
- Kadri, Farid et al. « Time Series Modelling and Forecasting of Emergency Department Overcrowding ». *Journal of Medical Systems* 38.9 (2014): 1-20. *link.springer.com*. Web.
- Kamath, Mohan Umesh. *Improving Correctness And Failure Handling In Workflow Management Systems*. N.p., 1998. Print.
- Kanagarajah, Ashok Kay et al. « An Exploration into the Uses of Agent-Based Modeling to Improve Quality of Healthcare ». *Unifying Themes in Complex Systems*. Éd. par Ali Minai, Dan Braha, et Yaneer Bar-Yam. Springer Berlin Heidelberg, 2010. 471-478. *link.springer.com*. Web. 25 sept. 2015.
- Khalouli, Safa, Fatima Ghedjati, et Abdelaziz Hamzaoui. « A meta-heuristic approach to solve a JIT scheduling problem in hybrid flow shop ». *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 23.5 (2010): 765-771. *ScienceDirect*. Web. Advances in metaheuristics for hard optimization: new trends and case studies.
- Khare, Rahul K. et al. « Adding More Beds to the Emergency Department or Reducing Admitted Patient Boarding Times: Which Has a More Significant Influence on Emergency Department Congestion? » *Annals of Emergency Medicine* 53.5 (2009): 575-585. *PubMed*. Web.

- Kinsman, Leigh et al. « Assessing the Impact of Streaming in a Regional Emergency Department ». *Emergency Medicine Australasia* 20.3 (2008): 221-227. *Wiley Online Library*. Web.
- Kirkpatrick, Scott. « Optimization by Simulated Annealing: Quantitative Studies ». *Journal of Statistical Physics* 34.5-6 (1984): 975-986. *link.springer.com*. Web.
- Kırış, Şafak et al. « A knowledge-based scheduling system for Emergency Departments ». *Knowledge-Based Systems* 23.8 (2010): 890-900. *ScienceDirect*. Web.
- Komashie, Alexander, et Ali Mousavi. « Modeling Emergency Departments Using Discrete Event Simulation Techniques ». *Proceedings of the 37th Conference on Winter Simulation*. Orlando, Florida: Winter Simulation Conference, 2005. 2681–2685. *ACM Digital Library*. Web. 25 sept. 2015. WSC '05.
- Konnyu, Kristin J et al. « The effectiveness and safety of emergency department short stay units: a rapid review ». *Open Medicine* 6.1 (2012): e10-e16. Print.
- Labarthe O., Espinasse B., Ferrarini A., Montreuil B.,(2007) *Toward a methodological framework for agent-based modeling and simulation of supply chains in a mass customization context, Simulation Modeling Practice and Theory*, 15, pp.113-136
- Lee, Duckwoong, Hayong Shin, et Byoung K. Choi. « Mediator approach to direct workflow simulation ». *Simulation Modelling Practice and Theory* 18.5 (2010): 650-662. *ScienceDirect*. Web.
- Li, Joyce, Alison C. Caviness, et Binita Patel. « Effect of a Triage Team on Length of Stay in a Pediatric Emergency Department ». *Pediatric Emergency Care* 27.8 (2011): 687-692. *PubMed*. Web.
- Liu, Ya, Chengbin Chu, et Kanliang Wang. « A new heuristic algorithm for the operating room scheduling problem ». *Computers & Industrial Engineering* 61.3 (2011): 865-871. *ScienceDirect*. Web.
- Lu, Xudong, Zhengxing Huang, et Huilong Duan. « Supporting Adaptive Clinical Treatment Processes through Recommendations ». *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 107.3 (2012): 413-424. *www.cmpbjournal.com*. Web.
- Macal, Charles M., et Michael J. North. « Agent-based Modeling and Simulation: ABMS Examples ». *Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation*. Miami, Florida: Winter Simulation Conference, 2008. 101–112. *ACM Digital Library*. Web. 25 sept. 2015. WSC '08.
- Mahdavi, Mahdi et al. « Generic operational models in health service operations management: A systematic review ». *Socio-Economic Planning Sciences* 47.4 (2013): 271-280. *ScienceDirect*. Web.
- Malhotra, Sameer et al. « Workflow Modeling in Critical Care: Piecing Together Your Own Puzzle ». *Journal of Biomedical Informatics* 40.2 (2007): 81-92. *PubMed*. Web.
- Marquardt, Wolfgang, et Manfred Nagl. « Workflow and information centered support of design processes—the IMPROVE perspective ». *Computers & Chemical Engineering* 29.1 (2004): 65-82. *ScienceDirect*. Web. PSE 2003.
- Martin, Mary et al. « Mapping patient flow in a regional Australian emergency department: A model driven approach ». *International Emergency Nursing* 19.2 (2011): 75-85. *ScienceDirect*. Web.
- McCaig, Linda F., et Catharine W. Burt. « National Hospital Ambulatory Medical Care Survey: 2002 Emergency Department Summary ». *Advance Data* 340 (2004): 1-34. Print.
- McCarthy, Melissa L., Ru Ding, Scott L. Zeger, et al. « A Randomized Controlled Trial of the Effect of Service Delivery Information on Patient Satisfaction in an Emergency Department Fast Track ». *Academic Emergency Medicine: Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine* 18.7 (2011): 674-685. *PubMed*. Web.

- McCarthy, Melissa L., Ru Ding, Jesse M. Pines, et al. « Provider Variation in Fast Track Treatment Time ». *Medical Care* 50.1 (2012): 43-49. *PubMed*. Web.
- McGuire, F. « Using simulation to reduce length of stay in emergency departments ». *Simulation Conference Proceedings, 1994. Winter*. N.p., 1994. 861-867. *IEEE Xplore*. Web.
- Meli, Christopher L., Ibrahim Khalil, et Zahir Tari. « Load-sensitive dynamic workflow re-orchestration and optimisation for faster patient healthcare ». *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 113.1 (2014): 1-14. *ScienceDirect*. Web.
- Meyer, Jens et al. « Efficient Data Management in a Large-Scale Epidemiology Research Project ». *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 107.3 (2012): 425-435. *www.cmpbjournal.com*. Web.
- (MIM 2007) Rapport de la Mission Interministérielle sur le dossier médical personnalisé (DMP). Novembre 2007.
- Min, Daiki, et Yuehwern Yih. « An elective surgery scheduling problem considering patient priority ». *Computers & Operations Research* 37.6 (2010): 1091-1099. *ScienceDirect*. Web.
- Moscato M et Piéaut-Le Bonniec G (Eds), Le langage, Construction et actualization, Publications de l'Université de Rouen, n°98, pp, 19-38.
- Moskop, John C. et al. « From Hippocrates to HIPAA: Privacy and confidentiality in Emergency Medicine—Part I: Conceptual, moral, and legal foundations ». *Annals of Emergency Medicine* 45.1 (2005): 53-59. *ScienceDirect*. Web.
- Mossialos, Elias, et Sarah Thomson. « Voluntary health insurance in the European Union ». *Funding health care: options for Europe* (2004): 128. Print.
- Muhammet Gül, Ali Fuat Güneri. « A computer simulation model to reduce patient length of stay and to improve resource utilization rate in an emergency department service system ». *The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice* 19.5 (2012): 221-231. Print.
- (NHSIII 2007). Going lean in the NHS. Warwick: NHS Institute for Innovation and Improvement.
- Or, Zeynep et al. « Are health problems systemic? Politics of access and choice under Beveridge and Bismarck systems ». *Health Economics, Policy and Law* 5.Special Issue 03 (2010): 269–293. *Cambridge Journals Online*. Web.
- ONDPS (2015). *Rapport annuel 2013–2014*. Paris, Observatoire national de la démographie des professions de santé.
- Papadimitriou, Christos H., et Kenneth Steiglitz. *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*. Courier Corporation, 1982. Print.
- Pardalos et Resende « Handbook of Applied Optimization - Panos M. Pardalos; Mauricio G. C. Resende - Oxford University Press ». (2002) N.p., s. d. Web. 25 sept. 2015.
- Park, Kihong, et Bob Carter. « On the Effectiveness of Genetic Search in Combinatorial Optimization ». *Proceedings of the 1995 ACM Symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: ACM, 1995. 329–336. *ACM Digital Library*. Web. 25 sept. 2015. SAC '95.
- Pato, Margarida Vaz, et Margarida Moz. « Solving a Bi-Objective Nurse Rerostering Problem by Using a Utopic Pareto Genetic Heuristic ». *Journal of Heuristics* 14.4 (2007): 359-374. *link.springer.com*. Web.
- Peck, Jordan S. et al. « Predicting Emergency Department Inpatient Admissions to Improve Same-Day Patient Flow ». *Academic Emergency Medicine: Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine* 19.9 (2012): E1045-1054. *PubMed*. Web.
- Pennathur, Priyadarshini R. et al. « Emergency department patient-tracking system evaluation ». *International Journal of Industrial Ergonomics* 41.4 (2011): 360-369. *ScienceDirect*. Web.

Human Factors and Ergonomics in Healthcare Delivery A Special Issue on Health Information Technology and Medication Administration Safety.

- Petrovic, Dobrila, Mohammad Morshed, et Sanja Petrovic. « Multi-objective genetic algorithms for scheduling of radiotherapy treatments for categorised cancer patients ». *Expert Systems with Applications* 38.6 (2011): 6994-7002. *ScienceDirect*. Web.
- Petrovic, S., et P. Leite-Rocha. « Constructive and GRASP Approaches to Radiotherapy Treatment Scheduling ». *World Congress on Engineering and Computer Science 2008, WCECS '08. Advances in Electrical and Electronics Engineering - IAENG Special Edition of the*. N.p., 2008. 192-200. *IEEE Xplore*. Web.
- Pham, Dinh-Nguyen, et Andreas Klinkert. « Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem ». *European Journal of Operational Research* 185.3 (2008): 1011-1025. *ScienceDirect*. Web.
- Pines, Jesse M., Joshua A. Hilton, et al. « International Perspectives on Emergency Department Crowding ». *Academic Emergency Medicine: Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine* 18.12 (2011): 1358-1370. *PubMed*. Web.
- Pines, Jesse M., Sanjay Iyer, et al. « The Effect of Emergency Department Crowding on Patient Satisfaction for Admitted Patients ». *Academic Emergency Medicine: Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine* 15.9 (2008): 825-831. Print.
- Pines, Jesse M. « The Left-without-Being-Seen Rate: An Imperfect Measure of Emergency Department Crowding ». *Academic Emergency Medicine* 13.7 (2006): 807-807. *Wiley Online Library*. Web.
- Portmann, Marie-Claude, et Antony Vignier. « Performances Study on Crossover Operators Keeping Good Schemata for Some Scheduling Problems ». Morgan Kaufmann, 2000. 331-338. *hal.inria.fr*. Web. 25 sept. 2015.
- Powell, Emilie S. et al. « The Relationship between Inpatient Discharge Timing and Emergency Department Boarding ». *The Journal of Emergency Medicine* 42.2 (2012): 186-196. *ScienceDirect*. Web.
- Qing Niu, Qingjin Peng, et Tarek Y. ElMekkawy. « Improvement in the operating room efficiency using Tabu search in simulation ». *Business Process Management Journal* 19.5 (2013): 799-818. *emeraldinsight.com (Atypon)*. Web.
- Radnor Zoe J., Holweg Matthias, Waring Justin (2011) Lean in healthcare: The unfilled promise? *Social Science & Medicine*, xxx, pp. 1-8.
- Rahmat, M.H. et al. « Agent-based modelling and simulation of emergency department re-triage ». *2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)*. N.p., 2013. 219-224. *IEEE Xplore*. Web.
- Reix Adrienne. Thèse de doctorat en médecine. Université Paris VII - Faculté de médecine Lariboisière - Saint - Louis, Paris 31 octobre 2002.
- Renaud T, Sermet C (2008). *Les dépenses de prévention en France. Estimation à partir des comptes nationaux de la santé 2002*. Paris, Institut de recherche et documentation en économie de la santé (IRDES rapport 1706) (<http://www.irdes.fr/Publications/Rapports2008/rap1706.pdf>, accessed 21 September 2010).
- Rozinat, A. et al. « Workflow simulation for operational decision support ». *Data & Knowledge Engineering* 68.9 (2009): 834-850. *ScienceDirect*. Web. Sixth International Conference on Business Process Management (BPM 2008) – Five selected and extended papers.
- Ruohonen, T., P. Neittaanmaki, et J. Teittinen. « Simulation Model for Improving the Operation of the Emergency Department of Special Health Care ». *Simulation Conference, 2006. WSC 06. Proceedings of the Winter*. N.p., 2006. 453-458. *IEEE Xplore*. Web.

- Saunders, Charles E, Paul K Makens, et Larry J Leblanc. « Modeling emergency department operations using advanced computer simulation systems ». *Annals of Emergency Medicine* 18.2 (1989): 134-140. *ScienceDirect*. Web.
- Schriber, T.J., D.T. Brunner, et J.S. Smith. « How discrete-event simulation software works and why it matters ». *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2012 Winter*. N.p., 2012. 1-15. *IEEE Xplore*. Web.
- Schuur, Jeremiah D., et Arjun K. Venkatesh. « The Growing Role of Emergency Departments in Hospital Admissions ». *New England Journal of Medicine* 367.5 (2012): 391-393. *Taylor and Francis+NEJM*. Web.
- Shen, Ying et al. « Emerging medical informatics with case-based reasoning for aiding clinical decision in multi-agent system ». *Journal of Biomedical Informatics* 56 (2015): 307-317. *ScienceDirect*. Web.
- Sorenson, Corinna. « The Role of HTA in Coverage and Pricing Decisions: A Cross-Country Comparison ». *Euro Observer* 11.1 (2009): 1-4. Print.
- Staccini, Pascal et al. « Modelling health care processes for eliciting user requirements: a way to link a quality paradigm and clinical information system design ». *International Journal of Medical Informatics* 64.2–3 (2001): 129-142. *ScienceDirect*. Web.
- Stormer, Henrik. *Ein flexibles und sicheres agentenbasiertes Workflow-Management-System*. N.p., 2003. Print.
- Sun, Benjamin C. et al. « Effect of Emergency Department Crowding on Outcomes of Admitted Patients ». *Annals of Emergency Medicine* 61.6 (2013): 605-611.e6. *ScienceDirect*. Web.
- Sung J. Shim, et Arun Kumar. « Simulation for emergency care process reengineering in hospitals ». *Business Process Management Journal* 16.5 (2010): 795-805. *emeraldinsight.com (Atypon)*. Web.
- Swinehart, K., T. W. Zimmerer, et S. Oswald. « Adapting a Strategic Management Model to Hospital Operating Strategies. A Model Development and Justification ». *Journal of Management in Medicine* 9.2 (1995): 34-47. Print.
- Tai, Guangfu, et Peter Williams. « Optimization of scheduling patient appointments in clinics using a novel modelling technique of patient arrival ». *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 108.2 (2012): 467-476. *ScienceDirect*. Web.
- Tchommo Janvier-Laurent , Batiste Pierre et Soumis François (2003). « Etude bibliographique de l'ordonnancement simultané des moyens de production et des ressources humaines ». Congrès International de Génie Industriel (GI).
- Timm, Nathan L., Mona L. Ho, et Joseph W. Luria. « Pediatric Emergency Department Overcrowding and Impact on Patient Flow Outcomes ». *Academic Emergency Medicine: Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine* 15.9 (2008): 832-837. *PubMed*. Web.
- Topaloglu, Seyda. « A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents ». *Computers & Industrial Engineering* 51.3 (2006): 375-388. *ScienceDirect*. Web. Special Issue on Selected Papers from the 34th. International Conference on Computers and Industrial Engineering (ICC&IE).
- Topaloglu, Seyda, et Irem Ozkarahan. « A constraint programming-based solution approach for medical resident scheduling problems ». *Computers & Operations Research* 38.1 (2011): 246-255. *ScienceDirect*. Web. Project Management and Scheduling. « trends-cscw.dvi - chap2.pdf ». Web. 25 sept. 2015.
- Trzeciak, S., et E. P. Rivers. « Emergency Department Overcrowding in the United States: An Emerging Threat to Patient Safety and Public Health ». *Emergency Medicine Journal* 20.5 (2003): 402-405. *emj.bmj.com*. Web.

- Turing, A. M. 1937. "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs problem". In: *Proceedings of London Mathematical Society* 2.42, pp. 230–265.
- Turkcan, Ayten et al. « Sequential clinical scheduling with service criteria ». *European Journal of Operational Research* 214.3 (2011): 780-795. *ScienceDirect*. Web.
- Van Essen, J. T. et al. « Minimizing the waiting time for emergency surgery ». *Operations Research for Health Care* 1.2–3 (2012): 34-44. *ScienceDirect*. Web.
- Vasilakis, C., D. Lecznarowicz, et C. Lee. « Developing Model Requirements for Patient Flow Simulation Studies Using the Unified Modelling Language (UML) ». *Journal of Simulation* 3.3 (2009): 141-149. *www.palgrave-journals.com*. Web.
- Vermeulen, Ivan B. et al. « Adaptive Resource Allocation for Efficient Patient Scheduling ». *Artificial Intelligence in Medicine* 46.1 (2009): 67-80. *www.aiimjournal.com*. Web.
- Walley, P. « Designing the Accident and Emergency System: Lessons from Manufacturing ». *Emergency Medicine Journal* 20.2 (2003): 126-130. *emj.bmj.com*. Web.
- Wang S., Chen W., ONG C., Liu L., et Chuang. 2006. RFID Application in Hospitals: A Case Study on a Demonstration RFID Project in a Taiwan Hospital. *Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'06)*.
- Wang, Lu. « An agent-based simulation for workflow in Emergency Department ». *Systems and Information Engineering Design Symposium, 2009. SIEDS '09*. N.p., 2009. 19-23. *IEEE Xplore*. Web.
- Wang, Tao et al. « Modelling and simulation of emergency services with ARIS and Arena. Case study: the emergency department of Saint Joseph and Saint Luc Hospital ». *Production Planning & Control* 20.6 (2009): 484-495. *Taylor and Francis+NEJM*. Web.
- Wang, Junwen et al. « Reducing Length of Stay in Emergency Department: A Simulation Study at a Community Hospital ». *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans* 42.6 (2012): 1314-1322. *IEEE Xplore*. Web.
- Waring, J. J., et Bishop, S. (2010). Lean healthcare: rhetoric, ritual and resistance. *Social Science & Medicine*, 71, pp.1332-1340
- Weiss, Gerhard. *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press, 1999. Print.
- Weng, Shao-Jen et al. « Simulation Optimization for emergency department resources allocation ». *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter*. N.p., 2011. 1231-1238. *IEEE Xplore*. Web.
- (WHO 2000). "Organization, World Health". *The World Health Report (2000): Health Systems : Improving Performance*. World Health Organization, 2000. Print.
- Wiler, Jennifer L. et al. « Optimizing Emergency Department Front-End Operations ». *Annals of Emergency Medicine* 55.2 (2010): 142-160.e1. *PubMed*. Web.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996) Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection, *Harvard Business Review*, 74(5), pp. 140-158.
- Wooldridge M. et N.R. Jennings (1995) Intelligent agents: Theory and practice; *The Knowledge Engineering Review*, 10(2), pp. 115-152.
- Yang, C. C. et al. « Improving scheduling of emergency physicians using data mining analysis ». *Expert Systems with Applications* 36.2, Part 2 (2009): 3378-3387. *ScienceDirect*. Web.
- Yeh, Jinn-Yi, et Wen-Shan Lin. « Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department ». *Expert Systems with Applications* 32.4 (2007): 1073-1083. *ScienceDirect*. Web.
- Yuan, Yufei et al. « Using agent technology to support supply chain management: potentials and challenges ». (2001): n. pag. *macsphere.mcmaster.ca*. Web. 25 sept. 2015.

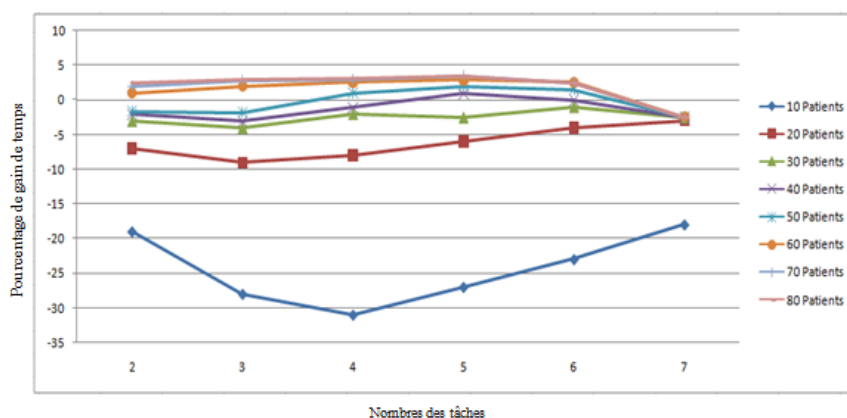
- Zeng, Zhen et al. « A Simulation Study to Improve Quality of Care in the Emergency Department of a Community Hospital ». *Journal of Emergency Nursing* 38.4 (2012): 322-328. *ScienceDirect*. Web.
- Zheng, Kai et al. « Quantifying the impact of health IT implementations on clinical workflow: a new methodological perspective ». *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 17.4 (2010): 454-461. *PubMed Central*. Web.

ANNEXES

Annexe A

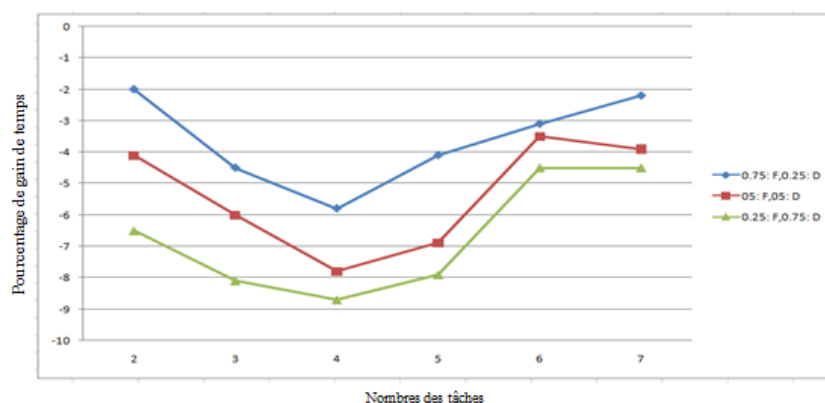
Nous avons effectué plusieurs scénarios de l'approche d'orchestration dynamique et statique en tenant compte uniquement du critère « temps d'attente ». Les configurations adoptées sont les suivantes : un multiple de 10 patients (jusqu'à 80 patients). En utilisant les bases des données « 2011-2012-2013 », les totaux moyens du gain de temps d'attente des patients sont présentés dans les figures ci-dessous.

Année 2011



Résultats de simulation à l'aide de BD 2011. Pourcentage moyenne de gain totale de file d'attente par rapport au nombre de tâches avec des différentes tailles des patients.

Dans ces simulations, chaque patient a le même nombre de tâches au sein de son Workflow. Lors d'une simulation de 20 patients nous pouvons constater que le GCr_2 varie de -7,0% à -2,9%. Nous constatons que le GCr_2 est décroissant à partir de la 5^{ème} tâche pour une configuration supérieure à 40 patients.



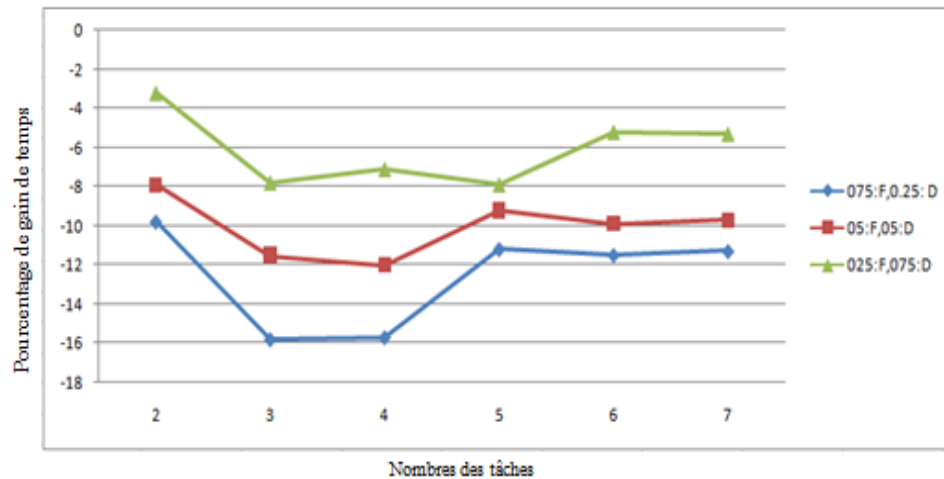
Pourcentage moyen du temps d'attente par rapport au nombre de tâches avec des proportions de patients dynamiques et fixes pour 20 patients.

La figure ci-dessus montre les résultats d'une simulation de 20 patients qui ont subi une orchestration par l'AO : dynamique (D) ou fixe (F). La proportion (0,25: F, 0,75 : D) correspond

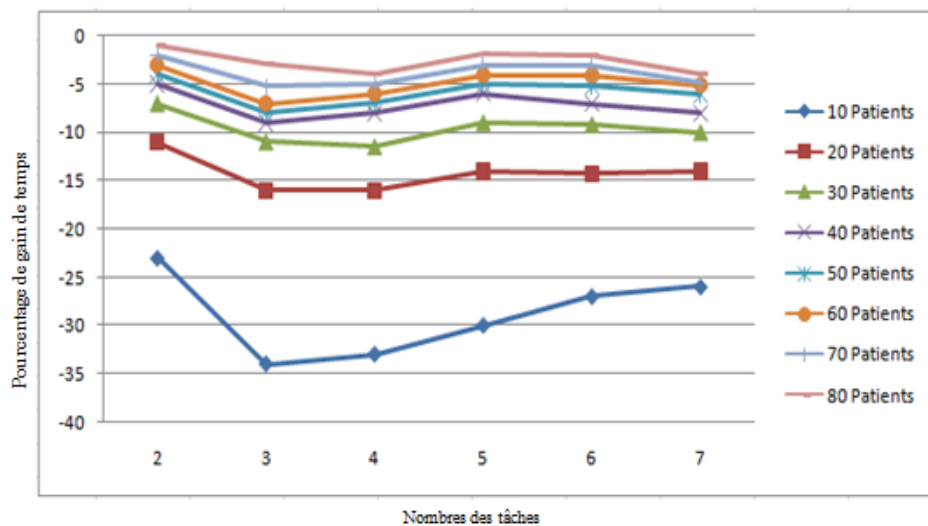
à un pourcentage de 75 % des patients ayant subi une orchestration dynamique et 25 % restants ayant subi une orchestration statique. Nous constatons que si le pourcentage des patients ayant subi une orchestration dynamique \nearrow , le $GCr_2 \nearrow$.

Nous avons réalisé les mêmes scénarios de simulations en utilisant les bases de données 2012 et 2013.

- Année 2012

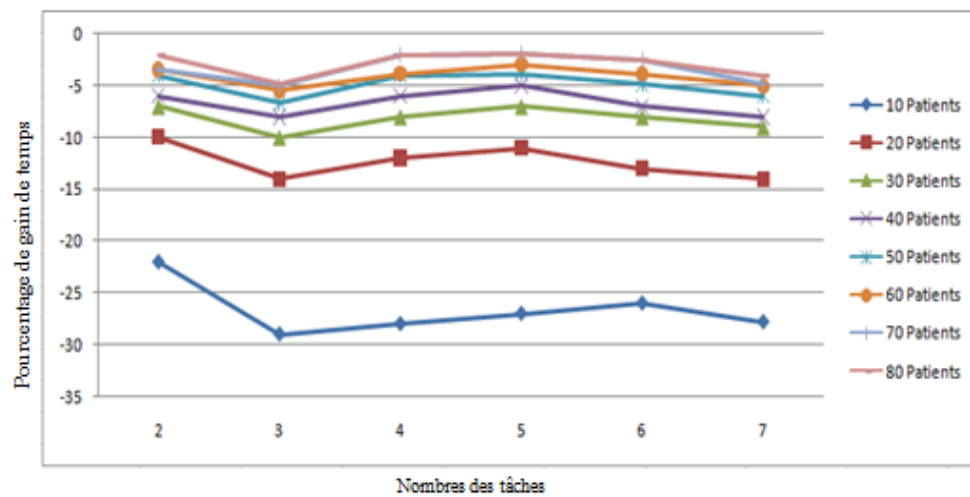


Résultats de simulation à l'aide de BD 2012. Pourcentage moyenne de gain totale de file d'attente par rapport au nombre de tâches avec des différentes tailles des patients.

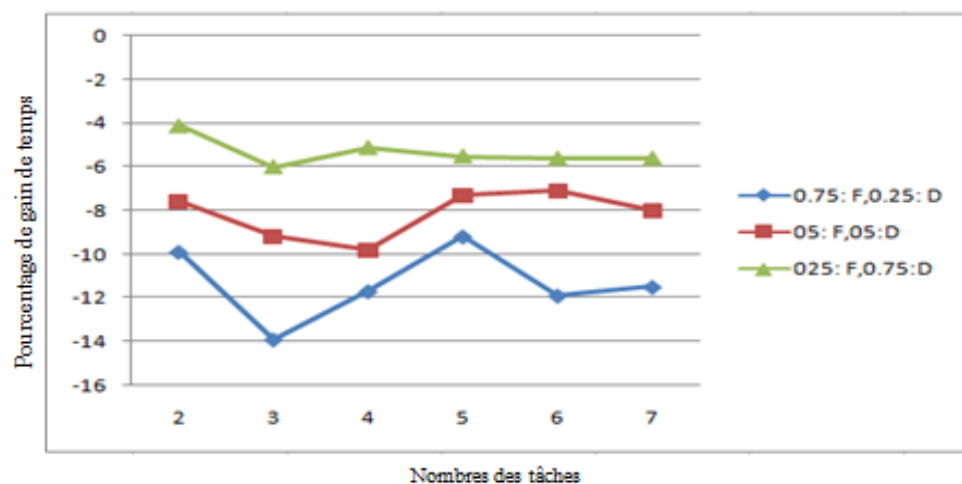


Pourcentage moyen du temps d'attente par rapport au nombre de tâches avec des proportions de patients dynamiques et fixes pour 20 patients.

- Année 2013



Résultats de simulation à l'aide de BD 2013. Pourcentage moyenne de gain totale de file d'attente par rapport au nombre de tâches avec des différentes tailles des patients.



Pourcentage moyen du temps d'attente par rapport au nombre de tâches avec des proportions de patients dynamiques et fixes pour 20 patients.

Annexe B

Analogie entre le problème d'ordonnancement de Job Shop flexible et le problème d'ordonnancement des tâches à compétences multiples

<i>Flexible Job Shop Problem</i>	<i>Problem of scheduling in the PED</i>
N jobs	N Patients
M machines	R resources (human+ material + operating rooms)
n_i non preemptable ordered operations /job i	n_i non preemptable tasks i
The problem: to organize the execution of N jobs on M machines.	The problem: to organize the execution of N care tasks requiring R various resources.
The execution of each operation j of a job i ($O_{j,i}$) requires one resource (machine) or more selected from a set of available machines.	The execution of each task j of a Patient i ($T_{j,i}$) requires one or more resources selected from a set of available resources.
The assignment of the operation $O_{j,i}$ to the machine M_k entails the occupation of this machine during a processing time called $d_{i,j,k}$	The assignment of the task $T_{j,i}$ to a resource R_k entails the occupation of this resource during a processing time $d_{j,i}$ (task's duration)
At a given time, a machine can only execute one operation: it becomes available to other operations once the operation which is currently assigned is achieved. (Resource constraints).	At a given time, a resource can only execute one operation: it becomes available to other operations once the operation which is currently assigned is achieved. (Resource constraints).

Annexe C

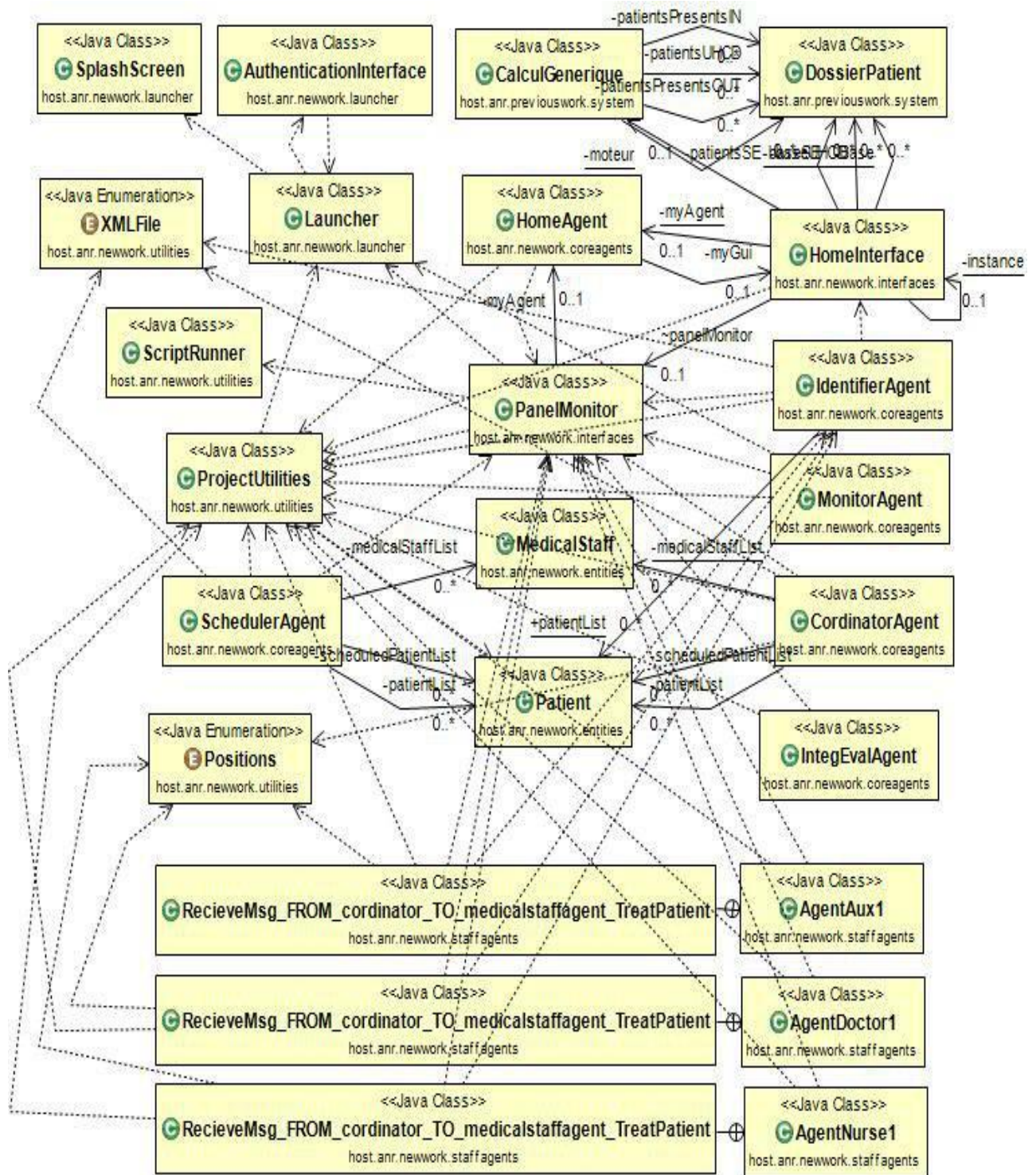


Diagramme de classe simplifié du système SysCAOO

Titre : Système collaboratif d'aide à l'ordonnancement et à l'orchestration des tâches de soins à compétences multiples

Résumé

Dans la gestion des systèmes de soins, la maîtrise des flux hospitaliers et l'anticipation des tensions sont des enjeux majeurs. Le but de cette thèse est de contribuer à l'étude et au développement d'un Système Collaboratif d'Aide à l'Ordonnancement et à l'Orchestration (SysCAOO) des tâches de soins à compétences multiples pour gérer les tensions dans les Services d'Urgences Pédiatriques (SUP) afin d'améliorer la qualité de prise en charge des patients. Le SysCAOO intègre une approche Workflow collaboratif pour modéliser le parcours patient afin d'identifier les dysfonctionnements et les pics d'activités du personnel médical dans le SUP. L'aspect dynamique et incertain du problème nous a conduits à adopter une alliance entre les Systèmes Multi-Agent (SMA) et les Algorithmes Evolutionnaires (AE) pour le traitement et l'ordonnancement des tâches de soins en tenant compte du niveau d'expérience des acteurs du SUP et leurs disponibilités. En cas d'aléas dans le SUP, une coalition d'agents se forme pour collaborer et négocier afin de proposer des décisions d'orchestration du Workflow et minimiser le temps d'attente des patients en cours de leur prise en charge. Les résultats expérimentaux présentés dans cette thèse justifient l'intérêt de l'alliance entre les SMA et les Métaheuristiques afin de gérer les tensions dans le SUP. Les travaux de recherche présentés dans cette thèse s'intègrent dans le cadre du projet HOST (Hôpital : Optimisation, Simulation et évitement des tensions) (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/?Projet=ANR-11-TECS-0010>).

Mots-clés

Systèmes de soins, gestion des tensions, ordonnancement, orchestration, tâches à compétences multiples, Workflow collaboratif, systèmes multi-agent, algorithmes évolutionnaires.

Title: Collaborative support system for multi-skill health care tasks scheduling and orchestration

Abstract

Health care systems management and the avoidance of overcrowding phenomena are major issues. The aim of this thesis is to implement a Collaborative Support System for Scheduling and Orchestration (CSSystSO) of multi-skill health care tasks in order to avoid areas bottlenecks in the Pediatric Emergency Department (PED) and improve health care quality for patients. The CSSystSO integrates a collaborative Workflow approach to model patient journey in order to identify dysfunctions and peaks of activities of medical staff in the PED. The dynamic and uncertain aspect of the problem has led us to adopt an alliance between Multi-Agent Systems (MAS) and Evolutionary Algorithms (EA) for health care tasks treatment and scheduling taking into account the level of experience of the PED actors and their availabilities. In case of perturbations in the PED, a coalition of agents is formed to collaborate and negotiate in order to provide orchestration Workflow decisions to minimize the waiting time of patients during their treatment. The experimental results presented in this thesis justify the interest of the alliance between MAS and Metaheuristics to manage overcrowding phenomena in the PED. This work belongs to the project HOST (Hôpital: Optimisation, Simulation et évitement des tensions). (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/?Projet=ANR-11-TECS-0010>).

Key-words

Health care systems, overcrowding management, scheduling, orchestration, multi-skill tasks, collaborative Workflow, multi-agent systems, evolutionary algorithms.